

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**ТЕХНОЛОГИЯ
ТЕКСТИЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В ДЕКАБРЕ 1957 ГОДА, ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

**№ 4 (400)
2022**

Журнал включен в "Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук"

Журнал представлен в Научной
электронной библиотеке (НЭБ)
и имеет импакт-фактор РИНЦ

Журнал включен в Междуна-
родные базы данных: SCOPUS и
CAS(pt), индексирующие
научные издания

Электронный вариант журнала
размещен на сайте
<http://ttp.ivgpi.com>

Издание Ивановского государственного политехнического университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Е.В. РУМЯНЦЕВ (д.х.н., ректор).

Заместитель главного редактора:

Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.).

Редакционная коллегия (Россия):

А.А. БИКБУЛАТОВА (к.т.н., проф.), М.В. БОЛСУНОВСКАЯ (к.т.н., проф.), Н.А. ГРУЗИНЦЕВА (д.т.н., проф.), Б.Н. ГУСЕВ (д.т.н., проф.), Т.Р. ДЕБЕРДЕЕВ (д.т.н., проф.), Г.П. ЗАРЕЦКАЯ (д.т.н., проф.), Н.Ю. КАЗАКОВА (д.т.н., проф.), Е.Н. КАЛИНИН (д.т.н., проф.), А.М. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), М.В. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), К.И. КОБРАКОВ (д.т.н., проф.), Ж.Ю. КОЙТОВА (д.т.н., проф.), А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ (д.т.н., проф.), В.Е. КУЗЬМИЧЕВ (д.т.н., проф.), Н.А. КУЛИДА (д.т.н., проф.), А.Г. МАКАРОВ (д.т.н., проф.), Л.Ю. МАХОТКИНА (д.т.н., проф.), А.П. МОРЫГАНОВ (д.т.н., проф.), Е.Н. НИКИФОРОВА (д.т.н., проф.), О.И. ОДИНЦОВА (д.т.н., проф.), Н.В. ПЕРЕБОРОВА (д.т.н., проф.), А.Б. ПЕТРУХИН (д.э.н., проф.), А.Ф. ПЛЕХАНОВ (д.т.н., проф.), К.Э. РАЗУМЕЕВ (д.т.н., проф.), Л.В. РЕДИНА (д.т.н., проф.), П.Н. РУДОВСКИЙ (д.т.н., проф.), В.Е. РУМЯНЦЕВА (д.т.н., проф.), А.В. СИЛАКОВ (д.э.н., проф.), Н.А. СМИРНОВА (д.т.н., проф.), Г.Г. СОКОВА (д.т.н., проф.), Е.Я. СУРЖЕНКО (д.т.н., проф.), М.Н. ТИТОВА (д.э.н., проф.), О.В. ТОЛОЧКО (д.т.н., проф.), А.В. ТРУЕВЦЕВ (д.т.н., проф.), Н.М. ФИЛИМОНОВА (д.э.н., проф.), А.В. ФИРСОВ (д.т.н., проф.), В.В. ХАММАТОВА (д.т.н., проф.), С.Ю. ХАШИРОВА (д.х.н., проф.), С.В. ХЕЙЛО (д.т.н., проф.), О.Г. ЦЫРКИНА (д.т.н., проф.), Ю.С. ШУСТОВ (д.т.н., проф.), С.С. ЮХИН (д.т.н., проф.)

Международная редакционная коллегия:

ADOLPHE S. DOMINIQUE (д.т.н., Франция), GERŠAK JELKA (д.т.н., Словения), UDVAL LODOI (д.т.н., Монголия), Е.В. ВАНКЕВИЧ (д.э.н., Беларусь), А.А. КУЗНЕЦОВ (д.т.н., Беларусь), С.В. ЛОМОВ (д.т.н., Бельгия), Д.Б. РЫКЛИН (д.т.н., Беларусь), С.Ш. ТАШПУЛАТОВ (д.т.н., Узбекистан), Н.Н. ЯСИНСКАЯ (д.т.н., Беларусь)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ (д.с.н., проф.), А.В. ДЕМИДОВ (д.т.н., проф.), А.Р. НАУМОВ (д.х.н., проф.), М.Г. БАЛЫХИН (д.э.н., проф.).

Ответственный секретарь *Е.Н. КАЛИНИН*

Адрес редакции: 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21.

Тел.: (4932) 41-75-02.

E-mail: ttp@ivgpu.com

<http://ttp.ivgpu.com>

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 25.07.2022. Подписано в печать 30.08.2022. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 29,3; Усл. кр.-отт. 29,55. Заказ 4883.

Тираж 400 экз.

"Известия вузов. Технология текстильной промышленности"
Издание Ивановского государственного политехнического университета
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21
E-mail: ttp@ivgpu.com

Издательско-полиграфический комплекс "ПресСто"
153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39, строение 8
Тел. 8-930-330-26-30
E-mail: pressto@mail.ru

© "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", 2022

**Ministry of Science and Higher Education
of Russian Federation**

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**TEXTILE
INDUSTRY
TECHNOLOGY**

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

ESTABLISHED IN DECEMBER OF 1957, 6 ISSUES PER YEAR

**№ 4 (400)
2022**

The journal is included in the "List of the leading peer-reviewed journals and publications issued in the Russian Federation, in which the major scientific results of dissertations for the degrees of doctor and candidate of sciences should be published"

**The journal is presented in the
Scientific Electronic Library and
has an RSCI impact factor**

**The journal is included in the
Scopus and CAS(pt) bibliographic
databases**

**The on-line version of the journal
is available at
<http://ttp.ivgpu.com>**

Published by Ivanovo State Polytechnical University

EDITORIAL BOARD

Chief editor: *E.V. RUMYANTSEV (d.ch.s., rector).*
Deputy of chief editor: *N.L. KORNILOVA (d.en.s., prof.).*

members:

Editorial board (Russia):

A.A. BIKBULATOVA (k.en.s., prof.), M.V. BOLSUNOVSKAYA (k.en.s., prof.), N.A. GRUZINTSEVA (k.en.s., prof.), B.N. GUSEV (d.en.s., prof.), T.R. DEBERDEEV (d.en.s., prof.), G.P. ZARETSKAYA (d.en.s., prof.), N.Yu. KAZAKOVA (d.en.s., prof.), E.N. KALININ (d.en.s., prof.), A.M. KISELEV (d.en.s., prof.), M.V. KISELEV (d.en.s., prof.), K.I. KOBRAKOV (d.en.s., prof.), Zh.Yu. KOYTOVA (d.en.s., prof.), A.R. KORABELNIKOV (d.en.s., prof.), V.E. KUZMICHEV (d.en.s., prof.), N.A. KULIDA (d.en.s., prof.), A.G. MAKAROV (d.en.s., prof.), L.Yu. MAKHOTKINA (d.en.s., prof.), MORYGANOV (d.en.s., prof.), E.N. NIKIFOROVA (d.en.s., prof.), O.I. ODINTSOVA (d.en.s., prof.), N.V. PEREBOROVA (d.en.s., prof.), A.B. PETRUKHIN (d.ec.s., prof.), A.F. PLEKHANOV (d.en.s., prof.), K.E. RAZUMEEV (d.en.s., prof.), L.V. REDINA (d.en.s., prof.), P.N. RUDOVSKY (d.en.s., prof.), V.E. RUMYANTSEVA (d.en.s., prof.), A.V. SILAKOV (d.ec.s., prof.), N.A. SMIRNOVA (d.en.s., prof.), G.G. SOKOVA (d.en.s., prof.), E.Ya. SURZHENKO (d.en.s., prof.), M.N. TITOVA (d.ec.s., prof.), O.V. TOLOCHKO (d.en.s., prof.), A.V. TRUEVTSEV (d.en.s., prof.), N.M. FILIMONOVA (d.ec.s., prof.), A.V. FIRSOV (d.en.s., prof.), V.V. KHAMMATOVA (d.en.s., prof.), S.Yu. KHASHIROVA (d.ch.s., prof.), S.V. KHEYLO (d.en.s., prof.), O.G. TSYRKINA (d.en.s., prof.), Yu.S. SHUSTOV (d.en.s., prof.), S.S. YUKHIN (d.en.s., prof.).

International editorial board:

ADOLPHE C. DOMINIQUE (d.en.s., France), GERŠAK JELKA (d.en.s., Sloveniya), UDVAL LODOI (d.en.s., Mongoliya), E.V. VANKEVICH (d.ec.s., Belarus), A.A. KUZNETSOV (d.en.s., Belarus), S.V. LOMOV (d.en.s., Belgium), D.B. RYKLIN (d.en.s., Belarus), S.Sh. TASHPULATOV (d.en.s., Uzbekistan), N.N. YASINSKAYA (d.en.s., Belarus)

EDITORIAL COUNCIL

V.S. BELGORODSKY (d.soc.s., prof.), A.V. DEMIDOV (d.en.s., prof.), A.R. NAUMOV (d.ch.s., prof.), M.G. BALYKHIN (d.ec.s., prof.)

Executive secretary *E.N. KALININ*

*Address: 153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21.
Tel.: +7(4932)41-75-02.
E-mail: ttp@ivgpu.com
[http:// ttp.ivgpu.com](http://ttp.ivgpu.com)*

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796. Passed for typesetting on 25.07.2022. Signed for printing on 30.08.2022. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 29.3 conventional sheets. 29.55 conventional. Order 4883.

Circulation of 400.

"Proceedings of higher education institutions. Textile Industry Technology"
Published by Ivanovo State Polytechnical University
153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21
E-mail: ttp@ivgpu.com

Publishing-printing complex "PresSto"
153025, Ivanovo, Dzerzhinskogo, 39, building 8
Tel. 8-930-330-26-30
E-mail: pressto@mail.ru

УДК 338.49

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_5

**КОНЦЕПЦИЯ СТАНОВЛЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА
ИНДУСТРИИ МОДЫ НА БАЗЕ ТРАДИЦИОННОГО
ТЕКСТИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ***

**THE FORMATION CONCEPT OF THE FASHION INDUSTRY NATIONAL CENTER
ON THE BASIS OF THE TRADITIONAL
TEXTILE COMPLEX OF THE IVANOV REGION**

C.C. МИШУРОВ, К.Е. РОМАНОВА, И.А. ЗАЙЦЕВА

S.S. MISHUROV, K.E. ROMANOVA, I.A. ZAYTSEVA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: kontur32@yandex.ru; rom.ke@mail.ru; 75zss@rambler.ru

В статье представлены авторская концепция и графическая модель становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области. Концепция включает в себя: стратегические основания, инновационную авторскую идею, парадигматическую методологию концептуального проектирования, систему принципов, креативную среду. Инновационной авторской идеей концепции является положение о том, что фундаментальная концепция становления Ивановской области как национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса должна базироваться на основных положениях голливудской экономической модели бизнеса. Парадигматическая методология концептуального проектирования опирается на институциональный, инструментальный, программно-целевой подходы. Институциональный подход рассматривает моду не столько как институт норм и правил, сколько как эволюцию образов, символов поведения потребителя, в конечном итоге – эволюцию образа жизни. Инструментальный подход обеспечивает прикладной аспект реализации концепции, позволяющий повысить эффективность деятельности и обеспечить согласованность всех структур института моды. Программно-целевой подход создает увязку целей организации с экономическими, хозяйственными, социальными мероприятиями и ресурсами для выполнения программы. Система

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-410-370005 "Очарование текстиля: разработка теоретико-методологических основ формирования национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса Ивановской области".

*The research was funded by RFBR and Ivanovo Region, project number 20-410-370005 "The charm of textiles: development of theoretical and methodological foundations for the formation of a national center of the fashion industry on the basis of a traditional textile production complex of the Ivanovo region".

принципов: инновационная направленность, адаптивность, оптимальность, экономичность, иерархичность. Креативная среда должна создаваться и поддерживаться посредством разумного снятия ограничений, созданием комфортных условий для творчества, внедрением инноваций, беспрепятственной коммуникацией. Данная концепция может послужить основой проектирования эффективных механизмов и инструментария для устойчивого развития индустрии моды и легкой промышленности.

The article presents the author's concept and graphic model of the formation of the fashion industry national center on the basis of the traditional textile complex of the Ivanovo region. The concept includes: strategic foundations, innovative author's idea, paradigmatic methodology of conceptual design, system of principles, creative environment. The innovative author's idea of the concept is the position that the fundamental concept of the formation of the Ivanovo region as a national center of the fashion industry on the basis of a traditional textile production complex should be based on the main provisions of the Hollywood economic business model. The paradigmatic methodology of conceptual design is based on institutional, instrumental, program-targeted approaches. The institutional approach considers fashion not so much as an institution of norms and rules, but as an evolution of images, symbols of consumer behavior, and, ultimately, the evolution of a lifestyle. The instrumental approach provides an applied aspect of the implementation of the concept, allows you to increase the efficiency of activities and ensure the consistency of all structures of the fashion institute. The program-target approach creates a linkage of the organization's goals with economic, economic, social activities and resources for the implementation of the program. System of principles consists of innovative orientation, adaptability, optimality, economy, hierarchy. A creative environment should be created and maintained through the reasonable removal of restrictions, the creation of comfortable conditions for creativity, the introduction of innovations, and unhindered communication. This concept can serve as the basis for designing effective mechanisms and tools for the sustainable development of the fashion and light industry.

Ключевые слова: концепция, текстильный производственный комплекс, институциональный, инструментальный, программно-целевой подходы; креативная среда.

Keywords: concept, textile production complex, institutional, instrumental, program-targeted approaches; creative environment.

Введение

Индустрия моды является ярким воплощением креативной экономики и ярко направленным вектором развития инновационных отраслей промышленности и поставщиком новаторской продукции на мировом рынке. Лидерами конкурентной борьбы в индустрии моды становятся компании, обладающие интеллектуальным капиталом в качестве основной составляющей ведущей стратегии.

Текстильный производственный комплекс Ивановской области, прекрасно раз-

витый в советское время, сейчас, к сожалению, нуждается в техническом перевооружении и направленности на новые сегменты национального рынка. Вместе с тем, индустрия моды Ивановской области обладает уникальным креативным потенциалом в виде устойчиво успешной школы дизайнера и конструирования одежды.

Создание и становление национального центра индустрии моды в Ивановской области станет мощным драйвером развития текстильной промышленности, сельского хозяйства, машиностроения, химической

промышленности, малого и среднего бизнеса. Это позволит сформировать уникальный профиль региона, что в свою очередь требует проведения теоретических исследований и разработки концепции становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса Ивановской области.

Проанализировав исследования Д. Аджемоглу, А. Ассмана, О. Бланшарда, И.Л. Кавицкой, А.А. Мальцева, Д. Родрика, Р. Френка и др. [1...7], авторы разработали концепцию становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области.

Методы

Стратегические основания концепции

"Стратегия – это наиболее философская, теоретическая и в то же время практическая составляющая успеха", – констатирует Владимир Квинт [8]. Стратегия представляет собой прогноз будущего результата деятельности на основе знаний, системного анализа и стратегического мышления.

Разработка стратегии концепции включает 5 этапов: анализ внутренней и внешней среды, определение видения, целеполагание, определение количественных и качественных характеристик, разработка сценария [9].

В индустрии моды более успешно работают стратегии:

1. Стратегия постоянного наступления – использует непрерывное внедрение креативных идей, что является характерной особенностью лидеров модного рынка.

2. Стратегия обороны и укрепления – опирается на эффективный сервис обслуживания потребителей.

3. Стратегия конкурентного давления – связана с инновациями в торговой сфере и используется в основном флагманами модной индустрии.

4. Стратегия специалиста – делает упор на конкретного дизайнера или модель.

5. Стратегия роста за счет приобретения – направлена на поглощение слабых компаний за счет солидных финансовых вложений.

6. Стратегия характерного имиджа – направлена на создание фирменного стиля, поддержание и укрепление репутации.

Индустрия моды, если рассматривать ее структуру, представляет собой пирамиду, каждая ступень которой определяет ценовой сегмент для потребителей (рис. 1 – структура индустрии моды).



Рис. 1

Самой распространенной сегментацией в индустрии моды является сегментация по ценовому признаку: высокая, средняя и низкая.

Для индустрии моды характерны четыре бизнес-модели: предметы роскоши, дизайнерская мода, премиум бренды, масс-маркет.

Результатом стратегии в индустрии моды является эффективная деятельность, позволяющая активно реализовывать креативные идеи, приносящие стабильный финансовый доход в долгосрочной перспективе [10].

Инновационная авторская идея

Инновационной авторской идеей концепции является положение о том, что фундаментальная концепция становления Ивановской области как национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса должна базироваться на основных положениях голливудской экономической модели.

Основная доктрина голливудской экономической модели состоит в том, что определяется проект, собирается команда профес-

сионалов с различными взаимодополняемыми компетенциями. После выполнения поставленных задач команду отпускают. Сформированная таким образом ситуативная команда способна выполнять сложные и крупные проекты. Голливудская модель хорошо зарекомендовала себя в строительстве, ресторанном бизнесе, косметологии для создания новых продуктов и др.

В нашей концепции инновационная авторская идея будет заключаться в следующем. В настоящий момент в индустрии моды доминируют крупные предприятия, предлагающие рынку идентичные товары, но требующие больших инвестиций. Кроме того, на таких предприятиях огромные средства уходят на содержание управленческого персонала. Конкуренция касается в основном ценовых сегментов. Внедрение голливудской экономической модели будет способствовать адаптивной, динамичной организации производства, когда собирается команда под определенный проект, на определенное время и с четко определенными финансовыми средствами. В команду должны входить дизайнеры, конструкторы и технологи швейного производства, экономисты, юристы, IT-инженеры и др. Важно, чтобы результат проекта был востребован, и покупатель готов был за него платить. Текстильная промышленность Ивановской области может предложить рынку качественную продукцию по более выгодной стоимости.

Организация проекта по принципу голливудской экономической модели способствует повышению уровня образованности, развитию общекультурных компетенций, поощрению креативности, мобильности.

Парадигматическая методология концептуального проектирования

Парадигматическая методология концептуального проектирования опирается на институциональный, инструментальный, программно-целевой подходы.

Институциональный подход

"Институциональный подход – форма и способ научного изучения реальности. Институциональный подход является одной из форм организации мультидисциплинарных исследований в науке, направленных на решение научно-исследовательских задач в

рамках ее предметного поля с помощью методологических конструктов и методов других научных дисциплин", – определяет А.В. Лубский в своих исследованиях [11].

Институциональный подход позволяет анализировать общественные, политические, экономические, социальные, юридические институты, учитывая самые различные социальные факторы. С позиции институционального подхода коррелированность между обществом и институтами требует учета сложных взаимосвязей. Институты являются основополагающими факторами при анализе функционирования различных структур в долгосрочной перспективе.

Используя институциональный подход в исследовании необходимо уделить внимание истории явления или процесса, поскольку из прошлого нужно извлекать уроки, а настоящее и будущее непосредственно вытекают из прошлого, что подтверждается непрерывностью общественных институтов.

Институциональный подход позволяет совместить теоретические и исторические исследования и анализ ситуации сегодняшнего дня, что отвечает задачам институционализма: "...результатом может стать выработка теории, которая позволит соединить микроуровень человеческой деятельности с макроуровнем побудительных мотивов, образованных институциональной системой..." [12]. Следовательно, институциональный подход является наиболее правильным при разработке концепции становления национального центра индустрии моды.

Опираясь на работы Э. Гидденса, Э. Дюркгейма, Г. Спенсера, Т. Парсонса, Р. Мертонса, можно выделить основную характеристику моды как социального института – это статусно-ролевая структура, выполняющая универсальные и специфические функции, которые формировались в процессе исторического развития моды.

Можно выделить 5 этапов становления института моды:

1 этап (XV - XVI вв.) – итальянская "протомода", формирующая новые нормы поведения;

2 этап (XVII-XVIII вв.) – становление и развитие французского института моды, который был направлен на закрепление экономического, политического и культурного доминирования Франции в Европе;

3 этап (XIX- первая половина XX вв.) – внедрение инноваций в институт моды;

4 этап (вторая половина XX в.) – широкая доступность отдельных секторов института моды, что связано с появлением массового производства и потребления;

5 этап (конец XX - начало XXI вв.) – глобализация моды, использование сетевого маркетинга [13], [14].

Историческое развитие института моды можно рассматривать как эволюцию образов, символов поведения потребителя, в конечном итоге – эволюцию образа жизни [15].

Институциональный подход позволяет выделить такие характерные особенности моды, как:

– целенаправленность – мода является целенаправленным видом деятельности, который направлен на формирование экономической и идеологической политики;

– упорядоченность – мода формирует образный порядок, в котором существуют системы коммуникаций, статусов, позволяющих выразить индивидуальную и групповую идентичность;

– системность – мода обладает свойствами системы, обладающей иерархией статусов, механизмами адаптации и контроля, способной к самовоспроизводству.

Инструментальный подход

Опора на инструментальный подход вызвана прикладным аспектом реализации концепции становления национального центра индустрии моды. Инструментальный подход позволяет повысить эффективность деятельности и обеспечить согласованность всех структур института моды.

Качественно спроектированный практический инструментальный способствует эффективному администрированию и преодолению противоречий между теоретическими разработками и практическим воплощением идей в модной индустрии. В рамках авторской концепции инструментальный подход требует четкого разделения полномочий и обеспечение согласованнос-

ти между различными структурами. Необходимо разумное использование форм, средств, технологий, механизмов, процедур и способов воздействия, которое позволит создать сложную конструкцию индустрии моды. Креативность моды требует и креативных инструментов, направленных на решение специфических и разнообразных задач.

Внедрение инструментального подхода позволит экономно использовать материальные средства и осуществить оптимизацию процессов модной индустрии в условиях избыточной информации, недостатка финансовых и временных ресурсов и высокой вероятности наступления рисков. При этом реализуется качественный контроль на всех этапах жизненного цикла продукции, что гарантирует профессиональный подход и удовлетворение желаний потребителей индустрии моды.

Применение инструментального подхода в модной сфере требует:

– быстрого реагирования на изменение потребностей и связанную с этим своевременность поставок;

– оптимизации временных параметров;

– увеличения разнообразия выпуска модной продукции при одновременном повышении рентабельности;

– оптимизации процессов декорирования модной продукции;

– использования инновационных материалов, что должно привести к сокращению затрат на производство массовых продуктов индустрии моды.

Программно-целевой подход

Программно-целевой подход обеспечивает увязку целей организации с экономическими, хозяйственными, социальными мероприятиями и ресурсами для выполнения плана. Данный подход позволяет скоординировать целенаправленную деятельность различных участников проекта и организовать эффективную практическую активность с помощью разработанных целевых программ [16].

Программно-целевой подход необходим при разработке концепции становления национального центра индустрии моды, поскольку позволяет прогнозировать

события и принимать решения в сложных неопределенных условиях. Руководствуясь данным подходом, целесообразно разработать методику и технологию формирования национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса Ивановской области. Программно-целевой подход позволяет эффективно сочетать территориальные и общегосударственные интересы с помощью разработки и внедрения целевых программ, которые находят свое воплощение в конкретных проектах индустрии моды.

Целевые программы в модной индустрии должны увязывать ресурсы, сроки, исполнителей с экономическими, хозяйственными и социальными мероприятиями, в результате чего должны эффективно реализовываться сложные креативные проекты.

Проект создания национального центра моды на базе традиционного производственного комплекса Ивановской области относится к межотраслевым программам, поскольку направлен на достижение основополагающих целей текстильной промышленности и разработки мероприятий, позволяющих стать г. Иванову – национальным центром индустрии моды.

Для рационального решения сложных задач рекомендуется разделить целевую программу на несколько подпрограмм.

Целевая программа в сфере индустрии моды может включать в себя следующие разделы:

- описание проблемы;
- формулировка целей и задач;
- сроки и этапы реализации проекта;
- разработка критериев контроля;
- программные мероприятия;
- ресурсное обеспечение проекта;
- механизм реализации проекта;
- оценка эффективности проекта.

Принципы

Принцип (основа, начало, первоначало) (от лат. *principium*; греч. *αρχή* – дословно "первейшее") – постулат, утверждение, на основе которого создают научные теории и законы [17].

Принципы, на которых базируется концепция становления национального центра индустрии моды.

1. Инновационная направленность. В индустрии моды этот принцип подразумевает использование инноваций в материалах, технологиях, дизайне, идеях и т.д.

2. Адаптивность – необходимость учитывать факторы внешней и внутренней среды, влияющие на процесс создания модных продуктов.

3. Оптимальность – разумное сочетание креативности и функциональности.

4. Экономичность – оптимальная результативность креативного процесса, повышение конкурентоспособности модной продукции.

5. Иерархичность – обеспечение эффективного взаимодействия на всех уровнях создания и реализации модных проектов [18].

Наряду с этим в практики модной индустрии целесообразно применить специфические принципы:

1. Создание креативной атмосферы.
2. Формирование вкуса потребителя.
3. Прогнозирование модных тенденций.
4. Подбор креативного персонала.
5. Жесткая дисциплина.

Креативная среда

В индустрии моды креативная среда рассматривается как пространство, в условиях которого должны развиваться творческая деятельность, талантливые сотрудники и оригинальные идеи.

Креативную среду можно рассматривать с позиции теории А. Маслоу, где высшей ступенью потребностей является потребность в самоактуализации, т.е. осуществление жизненных целей, максимальное раскрытие своих способностей, полная реализация личности.

Слово "креативность" в переводе с французского языка означает "творчество", т.е. способность к творчеству и включает такие качества личности, как целеустремленность, оригинальность, созидание, инновационность, изобретательность, творчество.

Креативную среду необходимо постоянно искусственно создавать и поддерживать посредством разумного снятия ограничений, созданием комфортных условий для

творчества, внедрением инноваций, беспрепятственной коммуникацией.

Результаты и обсуждения

В результате исследования авторы разработали концепцию становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области, включающую следующие компоненты: стратегические основания концепции, инновационную авторскую идею, парадигматическую методологию

концептуального проектирования, опирающуюся на институциональный, инструментальный, программно-целевой подходы, систему принципов (целевая ориентация, системность инновационной деятельности, адаптивность, экономичность, иерархичность), креативную среду (рис.2 – графическая модель концепции становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного производственного комплекса Ивановской области).

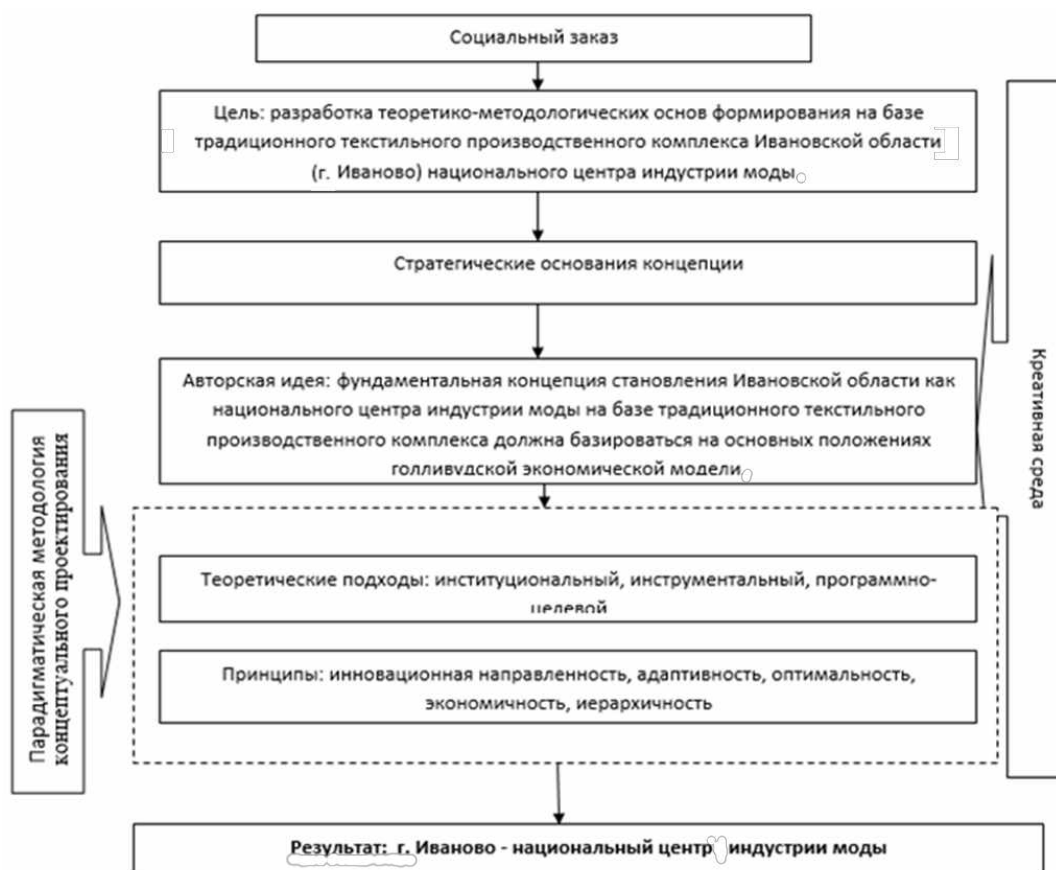


Рис. 2

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе эффективно разработанной авторской концепции, включающей в себя стратегические основания концепции, инновационную авторскую идею, парадигматическую методологию концептуального проектирования, опирающуюся на институциональный, инструментальный, программно-целевой подходы, систему принципов и креативную среду, возможно становление национального центра индустрии моды на базе традиционного

текстильного производственного комплекса Ивановской области.

Именно в Ивановской области сконцентрированы креативные, научные, производственные ресурсы. Разработанная концепция позволит раскрыть потенциал региона в области создания, производства и внедрения высоко маржинальных продуктов индустрии моды и легкой промышленности.

"Мы все привыкли к тому, что Иваново – это производство тканей, но Иваново сегодня может стать и российской, а может и мировой столицей современной моды", – ска-

зал С.В. Кириенко [19]. Он отметил, что этого можно добиться, если совместить традиции и опыт с креативными индустриями.

Разработанная концепция становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области может послужить основой проектирования эффективных механизмов взаимодействия творческих людей, бизнеса и власти, а также инструментария для устойчивого развития индустрии моды, легкой промышленности и других отраслей, что отражает общее направление социально-экономического развития России в рамках развития креативной экономики страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ассман А.* Распалась связь времен? Взлет и падение темпорального режима Модерна. – М.: Новое литературное обозрение, 2017.

2. *Аджемоглу Д., Робинсон Д.* Почему одни страны богатые, а другие бедные. Происхождение власти, процветания и нищеты. – М.: АСТ, 2016.

3. *Blanchard O.* Where Danger Lurks // *Finance & Development*. – September 2014. Vol. 51. № 3.

4. *Кавицкая И.Л.* Институциональный подход к макроэкономическому анализу // *Журнал институциональных исследований*. – 2013, №4. С. 78...88.

5. *Мальцев А.А.* Эволюция экономической мысли в контексте развития мирового хозяйства. – М.: ТЕИС, 2017.

6. *Родрик Д.* Экономика решает: сила и слабость "мрачной науки". – М.: Изд-во Института Гайдара, 2016.

7. *Фрэнк Р.* Дарвиновская экономика: Свобода, конкуренция и общее благо. – М.: Изд. Института Гайдара, 2013.

8. *Квинт В.* Стратегическое управление и экономика на глобальном формирующемся рынке. – М.: Бизнес Атлас, с разрешения издательства "Роутледж" (Routledge), группа "Тейлор и Франсис" (Taylor&FrancisGroup); Нью-Йорк, Лондон, 2012.

9. *Kvint V.* Strategy for the Global Market. Theory and Practical Applications. Routledge Taylor&Francis Group. – 2016. P. 120...156.

10. *Романова К.Е., Рябова О.Н.* Художественный образ в дизайн-проектировании костюма // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2014, № 2. С. 110...112.

11. Теория и методология исторической науки. Терминологический словарь / Отв. ред. А.О. Чубарьян. – М., 2014. С. 133...135.

12. *Азгальдов Г.Г. и др.* Методика проведения оценки соответствия технологий производства продукции (работ, услуг) гражданского назначения мировому уровню развития науки и техники. – М.: Рос-

сийская венчурная компания, 2013. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.rvc.ru/upload/iblock/48f/201405_RVC_estimation_technique.pdf

13. *Мишууров С.С., Филин Д.М.* К вопросу об институциональном развитии государственно - частного партнерства // *Генезис экономических и социальных проблем субъектов рыночного хозяйства в России*. – 2018, № 12. С. 86...89.

14. *Мишууров С.С., Шелкопляс Е.В.* Совершенствование институциональной среды как фактора инновационного развития территорий в рамках евразийского экономического союза // В сб. мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Инновационное предпринимательство и защита интеллектуальной собственности в Евразийском экономическом союзе. Сборник: в 2-х частях. – 2016. С. 16...23.

15. *Романова К.Е., Рябова О.Н.* Многофункциональная одежда // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2018, № 2. С. 169...173.

16. *Юрьева Т.В.* Проектно-целевой подход и его роль в современной экономике // *Современные технологии управления*. ISSN 2226-9339. – №6 (54). Номер статьи: 5410. Дата публикации: 2015-06-08. Режим доступа: <https://sovman.ru/article/5410/>

17. *Wheeler J. C.* Cosmic Catastrophes: Exploding Stars, Black Holes, And Mapping The Universe – 2nd, illustrated, revised – Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-52-185714-7

18. *Максимов Н.Н.* Основные принципы и задачи инновационной деятельности организаций в современных условиях // *Молодой ученый*. – 2013, № 10 (57). С. 344...347. – URL: <https://moluch.ru/archive/57/7823/>

19. <https://www.ivanovonews.ru/news/1048289/>.

REFERENCES

1. Assman A. Has the connection of times broken up? The Rise and Fall of the Modern Temporal Regime. – М.: New Literary Review, 2017.

2. Acemoglu D., Robinson D. Why some countries are rich and others are poor. The origin of power, prosperity and poverty. – М.: AST, 2016.

3. Blanchard O. Where Danger Lurks // *Finance & Development*. – September 2014. Vol. 51. № 3.

4. Kavitskaya I.L. Institutional Approach to Macroeconomic Analysis // *Journal of Institutional Studies*. – 2013, №4. P. 78...88.

5. Maltsev A.A. The evolution of economic thought in the context of the development of the world economy. – М.: TEIS, 2017.

6. Rodrik D. Economics decides: the strength and weakness of "dismal science". – М.: Publishing House of the Gaidar Institute, 2016.

7. Frank R. Darwinian economics: Freedom, competition and the common good. – М.: Ed. Gaidar Institute, 2013.

8. Kvint V. Strategic management and economics in the global emerging market. - М.: Business Atlas, with the permission of the Routledge publishing house (Routledge), the Taylor and Francis group (Taylor & FrancisGroup); New York, London, 2012.

9. Kvint V. Strategy for the Global Market. Theory and Practical Applications. Routledge Taylor & Francis Group. – 2016. P. 120 ... 156.

10. Romanova K.E., Ryabova O.N. Artistic image in costume design *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2014, №2. P. 110...112.

11. Theory and methodology of historical science. Terminological dictionary / Otv. ed. A.O. Chubaryan. – M., 2014. P. 133 ... 135.

12. Azgaldov G.G. and etc. Methodology for assessing the compliance of technologies for the production of products (works, services) for civil purposes with the world level of development of science and technology. - M.: Russian Venture Company, 2013. [Electronic resource] - Access mode: https://www.rvc.ru/upload/iblock/48f/201405_RVC_estimation_technique.pdf

13. Mishurov S.S., Filin D.M. On the issue of institutional development of public-private partnership // Genesis of economic and social problems of market economy entities in Russia. – 2018, № 12. S. 86...89.

14. Mishurov S.S., Shelkoplyas E.V. Improving the institutional environment as a factor in the innovative development of territories within the framework of the Eurasian Economic Union // In Sat. mat. International

scientific-practical Conf.: Innovative Entrepreneurship and Protection of Intellectual Property in the Eurasian Economic Union. Collection: in 2 parts. – 2016. P. 16...23.

15. Romanova K.E., Ryabova O.N. Multifunctional clothing // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, № 2. P. 169...173.

16. Yurieva T.V. Project-target approach and its role in the modern economy // Modern management technologies. ISSN 2226-9339. - № 6 (54). Article number: 5410. Publication date: 2015-06-08. Access mode: <https://sovman.ru/article/5410/>

17. Wheeler J. C. Cosmic Catastrophes: Exploding Stars, Black Holes, And Mapping The Universe - 2nd, illustrated, revised ed. – Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-52-185714-7

18. Maksimov N.N. Basic principles and objectives of innovative activities of organizations in modern conditions // *Young scientist*. – 2013, № 10 (57). P.344...347.– URL: <https://moluch.ru/archive/57/7823/>

19. <https://www.ivanovonews.ru/news/1048289/>.

Рекомендована кафедрой экономики, управления и финансов. Поступила 10.08.22.

УДК 339.1

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_13

КЛАСТЕРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ СОХРАНЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: ОПЫТ ИТАЛИИ*

CLUSTERS AS A TOOL FOR KEEPING THE COMPETITIVENESS OF THE TEXTILE INDUSTRY: ITALY PRACTICE

Д.А. СИТКЕВИЧ

D.A. SITKEVICH

(Институт прикладных экономических исследований РАНХиГС, МГУ имени М.В. Ломоносова)

(RANEPA Institute for Applied Economic Research, Lomonosov Moscow State University)

E-mail: dasitkevich@gmail.com

В статье рассмотрен итальянский опыт развития текстильной отрасли, которая преимущественно смогла ответить на вызовы, связанные с глобализацией и ростом экспорта из Китая. Показано, что значимую роль в формировании отрасли сыграл особый тип кластеров – индустриальные районы. За счет сочетания кооперации и конкуренции входящие в него

* Статья выполнена в 2022 г. в рамках Госзадания РАНХиГС.

фирмы смогли нарастить выпуск и успешно выйти на глобальные рынки. При этом для сохранения конкурентоспособности на фоне китайской продукции многим кластерам пришлось уйти в особые производственные ниши или вынести часть производства вовне кластера.

The article examines the Italian experience in the development of the textile industry, which was mainly able to respond to the challenges associated with globalization and the growth of exports from China. It is shown that a significant role in the formation of the industry was played by a special type of clusters - industrial districts. Due to the combination of cooperation and competition, its member firms were able to increase output and successfully enter global markets. At the same time, in order to remain competitive against the background of Chinese products, many clusters had to go into special production niches or move part of the production outside the cluster.

Ключевые слова: индустриальные районы, текстильные кластеры, Италия.

Keywords: industrial districts, textile clusters, Italy.

Во многих странах с высоким или средним уровнем дохода текстильная промышленность в конце XX века столкнулась с вызовом в виде дешевого импортного текстиля из стран Азии (в первую очередь, Китая). Не избежала этого и Россия, в которой открытие границ для иностранных компаний в сфере легкой промышленности в 1990-х наложило на экономический кризис. Это привело к серьезному снижению объемов производства в текстильной промышленности.

Однако спад российской легкой промышленности – не единственный пример того, как появление новых, выигрывающих конкуренцию за счет дешевой рабочей силы, предприятий в развивающихся странах приводит к снижению выпуска текстильной продукции в странах развитых. Тем интереснее примеры, когда текстильной промышленности в развитых странах удается не только оставаться конкурентоспособной, но и наращивать объемы производства. Пожалуй, наиболее выдающимся кейсом подобного рода является Италия, в некоторых городах которой текстильная промышленность по-прежнему является основой промышленного производства, даже после появления на рынке азиатских производителей. Такие успехи стали воз-

можны благодаря особой форме кластеров – индустриальным районам. Согласно Бекаттини, это "...социально-территориальная единица, которая характеризуется активным участием в ней как <городского> сообщества людей, так и местных фирм, в одной естественно и исторически ограниченной области" [Becattini, 1990, с. 38]. Иными словами, индустриальные районы представляют собой кластер, образованный в определенном городе (группе городов) и включающий в себя значительную долю горожан. Появившиеся в центральных провинциях Италии в 1960-х годах, с 1990-х индустриальные районы являются объектом активной промышленной политики со стороны государства. Учитывая то, что программы поддержки кластеров легкой промышленности существуют и в России, анализ опыта схожей политики в Италии может дать представления о возможных перспективах кластерного развития в российских регионах.

Концепция "индустриальных районов"

Что же такое "индустриальные районы"? В целом это структура, очень похожая на типичный кластер, однако, согласно Марчи и Грандинетти [2], у нее есть следующие особенности.

- Коллективная идентичность. Хотя фирмы и в кластерах, и в индустриальных районах находятся в одном географическом пространстве, только в индустриальных округах производимый продукт является частью коллективной идентичности.

- Размеры. Индустриальные районы редко превышают по размеру город или несколько соседних поселений, тогда как "кластер" может охватывать территории различных размеров.

- Гетерогенность. Если в кластерах могут быть разнообразные акторы разного размера (глобальные корпорации, малый и средний бизнес, университеты, научные центры), то в индустриальных районах его участники гомогенны – это малые и средние компании, обладающие приблизительно одинаковой переговорной силой при принятии решений, связанных с районом.

Как отмечает Сфорци [3], еще одной особенностью индустриальных районов является специализация на производстве "традиционных" товаров – то есть тех, которые исторически производятся в сообществе. За счет этого значительная доля индустриальных районов специализируется именно на производстве текстиля и одежды – 28,8% в Италии [4], 63% всего экспорта текстиля из Италии приходится именно на продукцию индустриальных районов [4]. Особо значимую роль в производстве итальянского текстиля играют четыре крупнейших индустриальных района – в Прато, Биелле, Бусто-Арсизио и Комо.

Важным отличием индустриальных районов является то, что основой их экономического развития является малый бизнес. Как указывает Сфорци [4], в отличие от остальной Италии, где ключевую роль в промышленности играют крупные предприятия, в индустриальных районах преобладает малый бизнес (табл. 1 – доля итальянских работников в промышленном секторе вне и внутри индустриальных районов [4]).

За счет чего конгломератам малых фирм удалось выжить в достаточно конкурентной среде крупных игроков текстильного рынка? Все дело в устройстве кооперации между предприятиями и низкими транзакционными издержками, связанными с высоким уровнем доверия между предпринимателями. В индустриальных районах, согласно Бекаттини [1], наблюдается высокий уровень разделения труда – отдельные фирмы могут специализироваться лишь на одном этапе создания стоимости, за счет чего они могут получать специфичные навыки именно этого аспекта производства. Кроме того, за счет того, что фирмы ищут себе контрагентов исключительно внутри района (с внешним миром торгуют лишь специализированные компании, которые занимаются закупками и сбытом продукции), издержки на поиск партнеров низки, а вероятность оппортунизма со стороны контрагента практически равна нулю (так как в противном случае он рискует быть изгнанным из индустриального района).

Т а б л и ц а 1

Размер компании	Доля работников в промышленности индустриальных районов, %	Доля работников в промышленности вне индустриальных районов, %	Работники сельского хозяйства и сектора услуг, %
До 9 работников	37,6	12,2	50,2
От 10 до 49	45,8	14,4	40,1
От 50 до 249	44	16,4	39,6
От 250 до 499	33,1	24,7	42,2
От 500 до 999	19,7	29,6	50,7
Более 1000 работников	9,4	36	54,6

Кроме того, преимущества индустриальных районов, согласно Бекаттини, заключаются в складывающейся внутри сообществ "инновационной среде". Любые

удачные ноу-хау, создаваемые одной фирмой, быстро перенимаются другими фирмами, за счет чего удачные практики быстро мультиплицируются по всему району.

Хотя индустриальные районы специализируются на "традиционных товарах", это не значит, что в них невозможны инновации. Обычно, впрочем, изменения затрагивают не сам товар (он остается достаточно простым с точки зрения техники), а методы его изготовления, повышающие эффективность производства, и дизайн, повышающий его привлекательность для потребителя. Робертсон, Якобсон и Ланглуа [5] отмечают, что в индустриальных районах фирмы способны быстрее внедрять инновации, так как разные фирмы внутри района могут попробовать разные вариации инновационного продукта, и сравнение результатов позволяет всему району увидеть, какая версия инновации более эффективна. Такой эксперимент в вертикально интегрированной фирме провести сложнее. Кроме того, за счет значительного разделения труда между компаниями более вероятны незначительные инновации на одном из участков производственной цепи, так как отдача от такой инновации в малой фирме, занимающейся лишь одним участком, будет значительно выше. При этом, в отличие от малых фирм без крепких связей, у фирм в индустриальных районах есть возможность путем коллективных действий инвестировать в разработки, которыми смогут пользоваться все фирмы района, или создавать технологический центр, который не только вырабатывает технологические стандарты, но и способен их совершенствовать и изменять.

Для индустриальных районов также характерно наличие общей инфраструктуры. Белланди [6] считает, что общественные блага являются критически важными как в плане эффективности (они дают фирмам то, что им было бы крайне дорого произвести или сделать в одиночку), так и в плане кооперации, так как использование совместного имущества может сблизить фирмы. В качестве таких общественных благ Белланди называет системы контроля качества и сертифицирования; оборудование и пространство для совместного производства; общая торговая марка; школы профессиональной подготовки; исследовательские центры.

Как устроено управление внутри индустриальных районов? Баньяско [7] отмечает, что регулирование общественной жизни и экономических процессов в индустриальных районах, а также личные и предпринимательские отношения между людьми сильно друг с другом переплетены. Во многом индустриальный район регулируется рыночными силами, которые подталкивает предпринимателей принимать решения, выгодные для своего бизнеса. Как и в случае других фирм, рыночные процессы в индустриальных районах ограничиваются регуляциями, установленными государством, однако к ним еще добавляются формальные и неформальные нормы, сложившиеся в местном сообществе. Хотя сообщество может иметь формальные органы (в виде, например, гильдий или торговых ассоциаций), большинство этих норм являются неформальными. Правила, по которым живет индустриальный район, обычно имплицитные, и все сообщество их знает и следит за их исполнением.

Конкретные наборы правил представлены в полевом исследовании Бруско [8]. Они затрагивают вопросы:

- конкуренции - честной конкуренцией считаются все легальные попытки фирм опередить своих конкурентов (в том числе путем копирования того, что они делают), нечестной - попытки узнать о рыночной стратегии своих конкурентов через совместных партнеров или давление на контрагента с целью усложнить жизнь своему конкуренту;
- доверия - контрагентам принято, скорее, доверять, но предприниматели имеют право быть предусмотрительными, а недоверие или желание проверить контрагента на честность воспринимается не как враждебное действие, а как естественное поведение;
- субконтрактных отношений - ни один из участников индустриального района не имеет права пользоваться рыночной силой над своим партнером; каждая компания должна учитывать потребности другой. Так, считается неправильным в одностороннем порядке снижать или завышать цену из-за рыночной конъюнктуры (что

позволяет лучше планировать фирмам свои доходы и расходы и снижает неопределенность по поводу будущего); вне зависимости от рыночной конъюнктуры неформальные договоренности между фирмами должны выполняться, даже если фирме это стало невыгодно.

Можно заметить, что эти правила не имеют связанного с государством гаранта, который обеспечил бы их соблюдение. Решения принимаются самими сторонами либо специализированным посредником (обычно предпринимательской ассоциацией), и они не являются обязательными для исполнения нарушителем. Наказанием за нарушение правил взаимодействия или заключенных соглашений является полное прекращение отношений с компанией-нарушителем. Хотя это наказание исполняется только пострадавшей фирмой, репутация нарушителя будет испорчена, и наладить связи с другими компаниями индустриального района ему будет сложнее, тем более, что информация в районе распространяется быстро. Если нарушение договоренностей связано с форс-мажором, то обычно объем заказов у провинившейся фирмы сокращается, но приостановки сотрудничества не происходит.

Текстильные индустриальные районы: истории успехов и неудач

Если говорить про текстильные индустриальные районы, то по своему устройству они мало чем отличаются от тех районов, которые специализируются на иных товарах (обуви, мебели, продуктах питания). Как значимая структура, текстильные индустриальные районы появились в 1960-х годах на волне "итальянского экономического чуда", когда темпы роста итальянской экономики в среднем составляли около 7%. Особенно существенным был в Центральной Италии, где находилось до половины всех индустриальных районов – если до начала бума данный регион по ВВП на душу населения отставал на 30...40%, то к началу 1990 г. по объему промышленного производства на душу он практически догнал наиболее развитые северные провинции [1].

Как отмечает Белусси [9], обозревая опыт 8 итальянских текстильных индустриальных районов, толчком к развитию кооперации между фирмам стал взрывной рост внешнего спроса, вызванный ростом уровня доходов в Италии, ростом количества туристов и снятием внешнеторговых барьеров между странами Европейского союза. Появление новых покупателей стимулировала работников малых фирм открывать собственный бизнес и кооперироваться с бывшими работодателями для упрощения закупок и сбыта. В большинстве районов, из описанных Белусси (6 из 8), важную роль с самого начала играют локальные институты, неформально регулирующие отношения внутри сообщества предпринимателей и то, как происходит обмен ноу-хау.

Хотя внутреннее устройство текстильных кластеров в Италии не отличалось от остальных, стратегии сбыта входящих в них фирм существенно отличались от остальных индустриальных районов. Так, они редко диверсифицировали свое производство, сосредотачиваясь на определенной номенклатуре товаров; до 1990-х годов предприятия не выносили хоть сколько-нибудь значимые части производства за рубеж; также редки были попытки выиграть конкуренцию в сегменте низкой цены и низкого качества. Если говорить о существовавших стратегиях развития, то, исходя из работы Белусси [9], можно выделить три основные стратегии:

1. Ориентация на массовый сегмент покупателей и попытка выиграть в этом сегменте конкуренцию по цене.

2. Производство люксовых товаров под собственным брендом.

3. Производство нишевых товаров с использованием новых технологий и синтетических материалов (преимущественно в секторе спортивной одежды).

При этом при всех трех стратегиях цепочка ценности (от разработки дизайна до конечного продукта) остается преимущественно внутри индустриального района.

После появления конкуренции со стороны китайской текстильной промышлен-

ности судьба итальянских промышленных районов оказалось печальной – по данным итальянской статистики в период с 1991 по 2001 гг. количество промышленных районов в стране сократилось с 191 до 156. При этом, как отмечает Сфорци [4], промышленное производство в Италии в этот период в целом снизилось – и в тех муниципалитетах, где были промышленные районы, оно было слабее (падение на 7,7% за десятилетие против 15% по всей стране). Связано это с тем, что внутри районов существовали системы поддержки слабых фирм, за счет чего им проще было пережить кризисы.

При этом вероятность выживания предпринимательской сети оказалась прямо связана с тем, какую стратегию развития выбрали входящие в нее фирмы. Если те объединения фирм, которые работали изначально в люксовом или нишевом сегменте, согласно Белусси и Седите [10], практически не почувствовали изменений, то компаниям из массового сегмента пришлось сильно адаптироваться под изменившийся рынок. В некоторых случаях, (например, в Комо), рост конкуренции стал одним из факторов фактического распада промышленного района [11]; в других произошла реструктуризация, в ходе которой в городе де-факто остается один или несколько производителей, способных совершать масштабные инвестиции в вывод части производства в страны с дешевой рабочей силой [2]. Особняком является пример крупнейшего текстильного промышленного района в городе Прато, в котором компании сократили свои издержки, перенесли часть производства в кластер, который создали в Прато мигранты из Китая [12]. При любом сценарии именно на промышленные районы, работавшие в сегменте низкой цены и низкого качества, пришлось основное падение.

Таким образом, пример Италии показывает, что промышленные районы, как разновидность кластеров, могут быть эффективны и способствовать развитию легкой промышленности. За счет сочетания конкуренции и кооперации фирмам удается лучше внедрять инновационные методы

производства; им проще заниматься закупками и сбытом. Однако итальянский опыт также говорит нам о том, что кластеры не являются панацеей – промышленным районам в развитых странах с высокой стоимостью труда без конкурентных преимуществ, связанных с качеством товара, выжить сложно.

Кластерная политика: сравнение итальянского и российского опыта

История итальянских промышленных районов особенно интересна, учитывая то, что с начала 1990-х годов местное правительство стало проводить политику по стимулированию их формирования. Политика оказалась достаточно успешной – так, за счет появления новых промышленных районов в Южной Италии экспортный профиль данного региона существенно изменился в пользу типичной для подобных кластеров продукции, в первую очередь, текстиля [13].

Вопрос, насколько кластерная политика может быть успешным инструментом стимулирования развития, важен в контексте того, что в последние годы она также используется в России [14]. Так, во многих регионах государством создаются областные кластеры легкой промышленности, в рамках которых власти оказывают поддержку предприятиям в участии в выставках, ярмарках, рекламных кампаниях.

Впрочем, итальянский опыт показывает, что подобная политика, ориентированная на создания кластера "сверху", не приносит своих результатов – подобные попытки административным путем создать предпринимательскую сеть привели лишь к появлению неустойчивых структур даже при наличии потенциальных участников (которые в регионах скорее есть) [15]. Связано это с тем, что власти не смогли учесть, насколько действительно возможно эффективное взаимодействие между предпринимателями, из-за чего по мере сворачивания финансовой поддержки кооперация распалась. Более того, в российских текстильных кластерах не возникает синергетический эффект – не считая мероприятий, организуемых органами власти, иной взаимовыгодной деятельности участники класте-

ров не предпринимают. По словам опрошенного представителя одного из такого рода кластеров, входящие в него предприятия воспринимают друг друга как конкуренты и даже стремятся обособиться друг от друга на специализированных ярмарках, опасаясь в противном случае потерять покупателей.

Более успешная политика поддержки индустриальных районов основывалась на иных принципах – она подразумевала не создание государством кластеров, а отбор уже существующих прото-сетей и создание им стимулов для совместной деятельности [16]. Поддержка распределялась в результате конкурса, в ходе которого инициативная группа предпринимателей должна представить проект общественного блага (инфраструктурного или исследовательского проекта), которое могло бы пойти на пользу всем фирмам внутри индустриального района. За счет такой политики государству не нужно искать перспективные кластеры (они появятся сами), а сформировавшаяся кооперация не распадется из-за того, что на полученные от властей деньги будет создано то, что эффективнее использовать вместе. Наладив кооперацию вокруг общественного блага, государство тем самым может показать положительный пример кооперации, что побудит предприятия к более активной совместной деятельности.

Иными словами, итальянский опыт показывает эффективность кластерной политики в отношении текстильной отрасли, однако также показывает ограниченность данной меры. Кластеры и индустриальные районы нельзя создать с нуля там, где у местных предприятий нет ни желания, ни смысла к коллективным действиям. Поэтому успешная программа развития легкопромышленных кластеров должна быть направлена на тех, кто сам готов к кооперации со своими конкурентами, и на заполнение тех пробелов в инфраструктуре (в том числе сбытовой), которую сами фирмы поодиночке решить не могут – к примеру, создание общего бренда или общей программы подготовки кадров. Учитывая то, что текущего уровня кооперации между

российскими текстильными фирмами недостаточно для создания описанных выше общественных благ, программа подталкивания к кооперации в обмен на финансирование общественных благ может дать синергетический эффект, сопоставимый с итальянским.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Becattini G., Pyke F., Sengenberger W. (ed.)* The Marshallian industrial district as a socio-economic notion. // *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy* // International Institute for Labour Studies. – 1990. P. 13...32.
2. *De Marchi V., Grandinetti R.* Industrial Districts and the Collapse of the Marshallian Model: Looking at the Italian Experience // *Competition and Change*. – V.18, №1. 2014. С. 70...87.
3. *Sforzi F., Pyke F., Becattini G., Sengenberger W. (ed.)* The Quantitative Importance of Marshallian Industrial District // *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy* // International Institute for Labour Studies. – 1990. P. 75...107.
4. *Sforzi F., Becattini G. (ed.)* The empirical evidence of industrial districts in Italy // *A Handbook of Industrial Districts*. – Edward Elgar Publishing, 2009.
5. *Robertson P., Jacobson D., Campagnolo D., Camuffo A.* Globalization and Low-technology Industries: The Case of Italian Eyewear // *Knowledge Transfer and Technology Diffusion*. – 2015.
6. *Bellandi M.* External economies, specific public goods and policies // *A Handbook of Industrial Districts*. / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing. – 2009.
7. *Bagnasco A.* The governance of industrial districts // *A Handbook of Industrial Districts* / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing. – 2009.
8. *Brusco S.* The rules of the game in industrial districts. // *Interfirm Networks*. – Routledge. – 1999. P.27...50.
9. *Belussi F.* Knowledge dynamics in the evolution of Italian industrial districts // *A Handbook of Industrial Districts*. / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing. – 2009.
10. *Belussi F., Sedita S. R.* Life cycle vs. multiple path dependency in industrial districts // *European Planning Studies*. – V. 17, № 4. 2009. P.505...528.
11. *Alberti F.G.* The decline of the industrial district of Como: Recession, relocation or reconversion? // *Entrepreneurship and Regional Development*. – V.18, №6. 2006. P.473...501.
12. *Ottati G.D.* A transnational fast fashion industrial district: an analysis of the Chinese businesses in Prato // *Cambridge Journal of Economics*. –V. 38, №. 5, 2014. P. 1247...1274.
13. *Guerrieri P., Iammarino S.* Dynamics of export specialization in the regions of the Italian Mezzogiorno: persistence and change // *Regional Studies*. –V. 41, №7. 2007. P. 933...948.

14. Жамбровский В.М., Савельев И.И., Лачин А.А., Лачина Е.А., Пузанова О.А. Перспективы развития промышленных кластеров в России // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С. 31...35.

15. Barca F. New trends and the policy shift in the Italian Mezzogiorno // Daedalus. – V. 130, №2, 2001. P.93...113.

16. Ситкевич Д. А. Индустриальная политика в экономически отсталых регионах: уроки Меццоджорно // Экономическая политика. – 2020. Т. 15, №1. С. 136...159.

REFERENCES

1. Becattini G., Pyke F., Sengenberger W. (ed.) The Marshallian industrial district as a socio-economic notion. // Industrial districts and inter-firm cooperation in Italy // International Institute for Labor Studies. – 1990 P. 13...32.

2. De Marchi V., Grandinetti R. Industrial Districts and the Collapse of the Marshallian Model: Looking at the Italian Experience // Competition and Change. – V.18. №1. 2014. P. 70...87.

3. Sforzi F., Pyke F., Becattini G., Sengenberger W. (ed.) The Quantitative Importance of Marshallian Industrial District // Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy // International Institute for Labor Studies. – 1990. P. 75 ... 107.

4. Sforzi F., Becattini G. (ed.) The empirical evidence of industrial districts in Italy // A Handbook of Industrial Districts. – Edward Elgar Publishing, 2009.

5. Robertson P., Jacobson D., Campagnolo D., Camuffo A. Globalization and Low-technology Industries: The Case of Italian Eyewear // Knowledge Transfer and Technology Diffusion. – 2015.

6. Bellandi M. External economies, specific public goods and policies // A Handbook of Industrial Districts. / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing. – 2009.

7. Bagnasco A. The governance of industrial districts // A Handbook of Industrial Districts / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing, 2009.

8. Brusco S. The rules of the game in industrial districts. // Interfirm Networks. – Routledge. – 1999. P.27...50.

9. Belussi F. Knowledge dynamics in the evolution of Italian industrial districts // A Handbook of Industrial Districts. / Becattini G. (ed.). – Edward Elgar Publishing, 2009.

10. Belussi F., Sedita S. R. Life cycle vs. multiple path dependency in industrial districts // European Planning Studies. – V. 17, №4. 2009. P.505...528.

11. Alberti F.G. The decline of the industrial district of Como: Recession, relocation or reconversion? // Entrepreneurship and Regional Development. – V.18, № 6. 2006. P.473...501.

12. Ottati G.D. A transnational fast fashion industrial district: an analysis of the Chinese businesses in Prato // Cambridge Journal of Economics. – V. 38, № 5. 2014. P. 1247...1274.

13. Guerrieri P., Iammarino S. Dynamics of export specialization in the regions of the Italian Mezzogiorno: persistence and change // Regional Studies. – V. 41, №7. 2007. P. 933...948.

14. Zhambrovsky V.M., Saveliev I.I., Lachin A.A., Lachina E.A., Puzanova O.A. Prospects of the development of industrial clusters in Russia // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 6. P. 31...35.

15. Barca F. New trends and the policy shift in the Italian Mezzogiorno // Daedalus. – V. 130, №2. 2001. P.93...113.

16. Sitkevich D.A. Industrial policy in economically backward regions: the lessons of Mezzo Giorno // Economic policy. – 2020. Vol. 15, № 1. P.136...159.

Рекомендована заседанием лаборатории институционального анализа экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Поступила 29.06.22.

**УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РИСКАМИ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

THE HUMAN RISK MANAGEMENT ON INDUSTRIAL PLANTS

Л.А. СОКОЛОВ

L.A. SOKOLOV

(Московский городской университет управления Правительства Москвы)

(Moscow Metropolitan Governance University)

E-mail: Sokolovla@mos.ru

Культура безопасности – важный фактор безопасного производства. Уровень культуры безопасности зависит от склонности сотрудников к безопасному поведению. Сотрудники, приверженные безопасному поведению, формируют культуру безопасности. Такая склонность, равно как и риски небезопасного поведения, могут быть оценены с помощью тестов и личностных опросников. При этом оцениваются соответствующие знания, способности и личностные качества. Исследование, проведенное с помощью разработанного в России опросника DEEP Safety, показало значимые различия по компетенциям безопасности между работниками, допустившими нарушения, и теми, кто их не допускал. Оценка знаний, способностей и личностных качеств работников ложится в основу рисков как на индивидуальном уровне, так и на уровне трудовых коллективов. На индивидуальном уровне решаются задачи отсеивания кандидатов с высокими рисками и выработке стратегии работы с конкретным сотрудником. На уровне коллективов решается задача подбора сотрудников по принципу взаимодополнения и компенсации рисков. Аналогично решается задача подбора команды под конкретного руководителя.

Safety culture is an important factor in safe production. The level of safety culture depends on the inclination of employees to safe behavior. Employees committed to safe behavior form a safety culture. This propensity, as well as the risks of unsafe behavior, can be assessed using tests and personality questionnaires. At the same time, relevant knowledge, abilities and personal qualities are evaluated. A study conducted using the DEEP Safety questionnaire developed in Russia showed significant differences in safety competencies between employees who committed violations and those who did not. Assessment of knowledge, abilities and personal qualities of employees forms the basis of risks both at the individual level and at the level of workforces. At the individual level, the tasks of screening out candidates with high risks and developing a strategy for working with a specific employee are solved. At the team level, the task of selecting employees on the basis of complementarity and risk compensation is being solved. Similarly, the problem of selecting team members for a specific manager is solved.

Ключевые слова: охрана труда, безопасность, производство, оценка рисков, оценка персонала, производственный персонал, поведение, тест, опросник, культура безопасности

Ключевые слова: охрана труда, безопасность, производство, оценка рисков, оценка персонала, производственный персонал, поведение, тест, опросник, культура безопасности.

Keywords: safety culture, indicators, safety behavior, performance, test, questionnaire, personnel, assessment.

Введение

Проблема небезопасного поведения была и остается актуальной во все времена практически в любой организации, в первую очередь – на производственных предприятиях. Меры по снижению рисков нарушений в сфере безопасности принимаются как в масштабе отдельных организаций, так и в масштабе целых отраслей и даже на государственном уровне. Мировая статистика указывает на серьезность проблемы. По данным Международной организации труда ежегодно порядка 2,3 миллиона человек гибнет от несчастных случаев и заболеваний, связанных с работой, что эквивалентно 6 тысячам смертей ежедневно. Каждый год в мире случается примерно 340 миллионов инцидентов, связанных с нарушением безопасности во время работы [1]. Производства в текстильной и легкой промышленности, конечно, не так опасны, как добыча полезных ископаемых, но все равно при этом, например, в Ивановской области в 2019 г. текстильная отрасль оказалась на втором месте по статистике травматизма после строительной [2]. В мировой индустрии моды, по некоторым оценкам, ежегодно получают травмы порядка 1,4 млн. человек [3].

В Распоряжении Правительства Российской Федерации от 26 апреля 2019 года №833-р первым в Комплексе мер по стимулированию работодателей и работников к улучшению условий труда и сохранению здоровья работников указано Совершенствование механизмов предупреждения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости [4]. В настоящее время государственная политика в области охраны труда дополнена новыми направлениями – оценкой и управлением профессиональными рисками [5]. В связи с этим тема управления рисками небезопасного поведения и формирования культуры

безопасности на производственных предприятиях приобретает особую актуальность. Многие компании, такие как один из крупнейших производителей кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов ТЕХНОНИКОЛЬ, включают безопасность в число своих корпоративных ценностей [6], соответственно, встает вопрос об оценке соответствующих параметров.

Выражение "Мы не можем управлять тем, чего мы не можем измерить" в полной мере применимо и к культуре безопасности. С одной стороны, ее можно оценить через объективные показатели – уровень производственного травматизма, количество несчастных случаев, аварий, нарушений и т.п. Но важно понимать, что данные показатели являются констатацией уже свершившихся фактов. А для управления рисками небезопасного поведения на производстве необходимы показатели, которые позволяли бы прогнозировать эти риски, и предпринимать соответствующие превентивные меры.

Существует достаточно большое количество различных инструментов для оценки уровня культуры безопасности или "климата безопасности" [7], [8]. Ряд исследований показывает отрицательную корреляцию между выраженностью культуры безопасности и уровнем производственного травматизма [9...11]. Оценка уровня культуры безопасности может служить хорошим ориентиром для принятия решений, направленных на минимизацию рисков. Но существует и ряд проблем, связанных с методологией оценки.

Первая. В данных исследованиях мы имеем дело с субъективным восприятием людьми различных аспектов, связанных с культурой безопасности. Такие данные, безусловно, ценны, но было бы еще более ценно использовать их в сочетании с более объективными данными.

Вторая. Не всегда ясны коренные причины. Мы можем зафиксировать тот факт, что 45% респондентов отметили, что руководители недостаточно полно анализируют причины инцидентов. Но это не дает нам понимания, почему так происходит.

Третья. Опросники, предназначенные для оценки климата безопасности, весьма прозрачны, а потому подвержены риску социальной желательности. Вот пример вопроса из опросника для оценки климата безопасности для работников промышленных предприятий [12]: "На предприятии присутствует подлинная забота о безопасности сотрудников".

Очевидно, все респонденты понимают, как "правильно" отвечать на данный вопрос. Кроме того, ряд вопросов задается относительно вещей, находящихся вне компетенций работников. Вряд ли каждый рабочий в состоянии квалифицированно ответить на вопрос о том, доводится ли информация о мерах безопасности до всех лиц, кому она необходима. Это тоже может приводить к искажению результатов.

Четвертая проблема. Возникает вопрос, что первично – культура безопасности или же люди, которые эту культуру формируют. Когда акцент делается на оценке уровня культуры безопасности, предполагается, что люди, находясь в данной культуре, будут более предрасположены к тому, чтобы следовать нормам безопасного поведения на рабочем месте. Мы же предлагаем взгляд с другой стороны – если подбирать людей, более предрасположенных к безопасному поведению, то и уровень культуры безопасности будет более высоким. Конечно, это вещи взаимосвязанные. Но если оценке уровня культуры безопасности уделяется достаточно много внимания, и такая оценка для ряда организаций является стандартной процедурой, то оценка склонности сотрудников к небезопасному поведению – дело еще для многих достаточно новое.

Методы

Определимся с тем, что понимать под небезопасным поведением. В контексте производственной безопасности это поведение человека, которое создает угрозу безопасности для него самого, для других лю-

дей или же для материальных объектов. Небезопасное поведение не всегда приводит к конкретным последствиям в виде аварий, травм, несчастных случаев, но очевидно, что последние являются его прямым следствием.

Анализ коренных причин позволяет выявить следующие основные факторы, влияющие на склонность человека к небезопасному поведению.

1. Неосознание человеком опасностей и рисков.

2. Осознанное пренебрежение опасностями и рисками.

3. Нарушения под давлением со стороны других людей.

Данные факторы можно оценить при помощи различных методов, в частности, с помощью объективных тестов, личностных опросников и интервью.

Объективные тесты служат для оценки знаний и способностей, т.е. тех вещей, которые напрямую связаны с действием первого фактора – неосознанием опасностей и рисков. Причин такого неосознания две. Первая – отсутствие соответствующих знаний. Их может не быть потому, что не было проведено соответствующее обучение или инструктаж, либо они были проведены некачественно, в результате чего знания не были усвоены. Вторая причина более глубокая и кроется в недостатке у человека соответствующих способностей. Человек с низкими способностями, даже пройдя обучение и выучив какой-либо материал, например, в области требования безопасности и охраны труда, может не понимать его смысл, а столкнувшись в реальности с опасной ситуацией, не в состоянии правильно идентифицировать риски, оценить их опасность и предпринять адекватные действия.

Личностные опросники и интервью позволяют оценить черты личности, влияющие на склонность к небезопасному поведению, мотивацию, и опыт, связанный с нахождением в рискованных ситуациях.

Такие инструменты существуют как за рубежом, так и в России. Из зарубежных инструментов можно отметить методики Hogan Safety [13], TalentClick [14], SHL Workplace Safety Solution [15]. В данном ис-

следовании использовалась система оценки рисков небезопасного поведения DEEP Safety, разработанная группой компаний Detech и размещенная в системе онлайн оценки персонала ONTARGET [16]. Предпочтение российской разработке было отдано по следующим причинам: во-первых, данная система разработана на русском языке и валидизирована на российской выборке, потому, в отличие от зарубежных, не нуждается в адаптации. Во-вторых, в контексте современной политической и экономической ситуации, наполненной противостоянием и взаимными санкциями, использование зарубежных систем оценки персонала может создавать дополнительные риски для российских компаний. Опросник Deep Safety состоит из 172 утверждений и оценивает основные факторы личности, влияющие на поведение человека на рабочем месте, с помощью 23 основных шкал и 1 шкалы социальной желательности. Надежность шкал опросника подтверждена исследованиями, Альфа Кронбаха находится в диапазоне 0,624-0,791 при требуемых значениях 0,6-0,7. Валидность также подтверждена рядом исследований и отражена в техническом отчете.

Результаты и обсуждение

В исследованиях производственных коллективов нами использовался метод критериальных выборок, когда данные об оценке рисков небезопасного поведения сравнивались с фактическими показателями нарушений, выявленных среди работников. Наиболее существенные различия между этими группами были выявлены по компетенциям "Дисциплинированность" и "Нетерпимость к нарушениям" (рис.1 – сравнение оценок по компетенциям безопасности групп рабочих, допускавших нарушения и не допускавших нарушений. Шкала стенов 1...10).

"Дисциплинированность" описывается следующими поведенческими индикаторами: тщательно соблюдает все требования инструкций, правил и норм, не позволяет себе даже незначительных нарушений. "Нетерпимость к нарушениям" описывается следующими индикаторами: нетерпимо относится к нарушениям со стороны других,

пресекает нарушения, если они совершаются другими людьми.

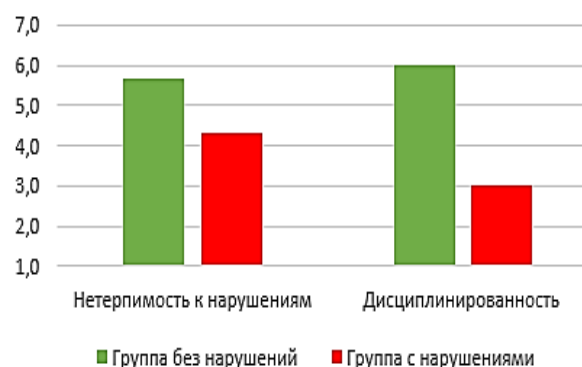


Рис.1

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование личного опросника DEEP Safety дает возможность, с одной стороны, прогнозировать риски небезопасного поведения у работников, а, с другой, определять людей, которые создают минимум рисков и своим отношением, и своим примером формируют высокую культуру безопасности.

В связи с этим работа с персоналом может быть выстроена на двух уровнях – индивидуальная работа и работа на уровне трудовых коллективов.

Индивидуальные результаты оценки используются для решения следующих задач:

- Подбор персонала – подходит ли конкретный кандидат на ту или иную позицию, каковы его сильные стороны и риски.
- Стратегия работы с сотрудником – руководители, понимая особенности своих сотрудников, их сильные стороны и риски, могут целенаправленно выстраивать работу с ними.
- Развитие и обучение – оценка позволяет выявить следующие факторы, важные для развития и обучения:
 - Способности человека, особенности его работы с информацией.
 - Компетенции, которые следует развивать, причем здесь возможна как стратегия "усиливать слабые стороны", так и стратегия "делать сильного еще сильнее".
 - Конкретные области знаний, в которых существуют пробелы.

- ОТиПБ – понимание, кто из сотрудников обладает потенциалом к тому, чтобы стать лидером культуры безопасности, а кто имеет определенные риски. К тому же, понимание этих рисков и их природы позволяет адресно вести работу с такими сотрудниками.

На уровне трудовых коллективов результаты оценки позволяют решать следующие задачи:

- Понимание сильных сторон и рисков на уровне компании в целом в разрезе отдельных подразделений и трудовых коллективов (цехов, бригад и т.п.) с возможностью анализа до уровня отдельных руководителей и сотрудников.

- Правильное комплектование трудовых коллективов. Конечно, в идеале каждому руководителю хочется, чтобы в его организации вообще не было сотрудников, попадающих в зону риска, но по объективным причинам это далеко не всегда возможно. Поэтому результаты оценки можно использовать для того, чтобы компенсировать слабые стороны одних сотрудников сильными сторонами других. Например:

- Сотрудник или группа сотрудников, обладающих склонностью к нарушению

правил, направляются под начало руководителя, обладающего высокой требовательностью и принципиальностью.

- Сотрудник, склонный поддаваться давлению, попадать под влияние других людей, оказавшись в среде нарушителей, сам быстро станет нарушителем, но оказавшись в коллективе людей, разделяющих ценность безопасной работы и придерживающихся норм безопасного поведения, сам тоже будет следовать данным нормам.

- Подбор сотрудников с учетом особенностей руководителя. В сущности, это частный случай комплектования трудовых коллективов, но в силу специфики и важности мы выделили бы эту задачу отдельно. При этом отметим, что при ее решении учитываются не только факторы, связанные с безопасным поведением, но и другие, относящиеся к управленческим отношениям в целом. Как минимум, следует учитывать предпочитаемые стили руководства и подчинения. Пример показан в табл. 1 (пример результатов оценки стиля руководства у руководителя и соотнесения их со стилями подчинения сотрудников. Использована шкала стенов 1...10).

Т а б л и ц а 1

Стили руководства руководителя		Стили подчинения подчиненных	Подчиненные				
			А	Б	В	Г	Д
Директивный	4	Исполнительный	5	3	5	2	5
Делегирующий	6	Самостоятельный	5	5	6	6	5
Привлекающий	5	Сотрудничающий	7	7	6	7	5
Консультирующийся	7	Информирующий	7	5	4	8	5
Договаривающийся	5	Взаимодействующий	4	7	6	5	6

Из данной таблицы наглядно видно, что руководителю в отношении данной группы рекомендуется использовать консультирующийся, привлекающий и делегирующий стили, т.к. именно они наилучшим образом сочетаются с предпочитаемыми стилями подчинения сотрудников. При этом данному руководителю может быть сложно с сотрудниками, требующими директивного стиля управления.

В Ы В О Д Ы

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Подбор людей, обладающих личностными качествами и компетенциями, способствующими безопасному поведению, является одной из ключевых задач управления персоналом на производственных предприятиях и в других организациях, где

сотрудники имеют дело с вредными или опасными факторами.

2. Для реализации этой задачи могут быть использованы специализированные личностные опросники.

3. Достижение безопасной и эффективной работы в масштабах компании возможно лишь тогда, когда на это работает целый комплекс мероприятий и управленческих практик, при которых результаты оценки ложатся в основу принимаемых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Statistic. The enormous burden of poor working conditions. // International Labour Organization. Электронный ресурс: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang--en/index.htm Дата обращения: 10.06.2022.

2. О динамике уровня и основных причинах производственного травматизма с тяжелыми последствиями в Ивановской области в 2019 году // Государственная инспекция труда в Ивановской области. Электронный ресурс: <https://git37.rostrud.gov.ru/news/885723.html> Дата обращения: 10.06.2022.

3. Death, Injury and Health in the Fashion Industry. // Common objective. Электронный ресурс: <https://www.commonobjective.co/article/death-injury-and-health-in-the-fashion-industry> Дата обращения: 10.06.2022.

4. Распоряжение Правительства РФ от 26.04.2019 N 833-р "Об утверждении комплекса мер по стимулированию работодателей и работников к улучшению условий труда и сохранению здоровья работников, а также по мотивированию граждан к ведению здорового образа жизни". URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_323517/ Дата обращения: 10.06.2022.

5. Госдума поддержала внедрение управления профессиональными рисками в организациях. // Минтруд России. 26 февраля 2021. Электронный ресурс: <https://mintrud.gov.ru/labour/38> Дата обращения 10.06.2022.

6. Ценности ТЕХНОНИКОЛЬ. // Технологии мастерства. – Март 2022, № 1 (19). С.13.

7. Zohar D. Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications // Journal of Applied Psychology. – 1980. 65 (1). P.96...102.

8. Flin R., Mearns K., O'Connor P., Bryden R. Measuring safety climate: identifying the common features. // Safety Science. – 2000. 34 (1-3). P.177...192.

9. Watson G.W., Scott D., Bishop J. Turnbeaugh, T. Dimensions of interpersonal relationships and safety in the steel industry // Journal of Business and Psychology. – 2005. 19 (3). P.303...318.

10. Törner M., Pousette A., Larsson S. Safety Climate in Swedish Construction Industry: f Pilot Study Replicating a Model from British manufacturing Industry. //36 Network Conference on the Prevention of Accident and Trauma at Work. – 2002, September. Elsinore, Denmark.

11. Tucker S., Chmiel N., Turner N., Hershcovis M.S., Stride C.B. Perceived organizational support for safety and employee safety voice: the mediating role of coworker support for safety // Journal of Occupational Health Psychology. – 2008. №13. P.319...330.

12. Abolfazl Ghahramani, Hamid R. Khalkhali. Development and Validation of a Safety Climate Scale for Manufacturing Industry // Safety and Health at Work. – 2015. №6. P.97...103.

13. <https://237jzd2nbeeb3ocdpdcjau97-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/09/HC560419-EcHPISafetyMLV2D-General.pdf> Электронный ресурс. Дата обращения: 10.06.2022.

14. <https://www.talentclick.com/wp-content/uploads/2019/06/SQ-Employer-TalentClick-Sample-Report-1.pdf> Электронный ресурс. Дата обращения: 10.06.2022.

15. <https://questpartnership.co.uk/product/personality/shl-workplace-safety-solution-operatives-r-7op/> Электронный ресурс. Дата обращения: 10.06.2022.

16. <https://ontarget.ru/solutions#/tab/348120446-2> Электронный ресурс. Дата обращения: 10.06.2022.

REFERENCES

1. World Statistic. The enormous burden of poor working conditions. // International Labor Organization. Electronic resource: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang--en/index.htm Accessed: 06/10/2022.

2. On the dynamics of the level and the main causes of industrial injuries with severe consequences in the Ivanovo region in 2019 // State labor inspectorate in the Ivanovo region. Electronic resource: <https://git37.rostrud.gov.ru/news/885723.html> Date of access: 06/10/2022.

3. Death, Injury and Health in the Fashion Industry. // common objective. Electronic resource: <https://www.commonobjective.co/article/death-injury-and-health-in-the-fashion-industry> Date of access: 06/10/2022.

4. Order of the Government of the Russian Federation of April 26, 2019 N 833-r "On approval of a set of measures to encourage employers and employees to improve working conditions and maintain the health of employees, as well as to motivate citizens to lead a healthy lifestyle." URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_323517/ Date of access: 06/10/2022.

5. The State Duma supported the introduction of professional risk management in organizations. // Ministry of Labor of Russia. February 26, 2021. Electronic resource. <https://mintrud.gov.ru/labour/38> Date of access 10.06.2022.

6. TECHNONICOL values. // Technologies of mastery. – March 2022, № 1 (19). P.13.

7. Zohar D. Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications // Journal of Applied Psychology. – 1980. 65 (1). P.96...102.

8. Flin R., Mearns K., O'Connor P., Bryden R. Measuring safety climate: identifying the common features. // Safety Science. – 2000. 34 (1-3). P.177...192.

9. Watson G.W., Scott D., Bishop J. Turnbaugh, T. Dimensions of interpersonal relationships and safety in the steel industry // Journal of Business and Psychology. – 2005. 19 (3). P.303...318.

10. Törner M., Pousette A., Larsson S. Safety Climate in Swedish Construction Industry: f Pilot Study Replicating a Model from British manufacturing Industry. //36 Network Conference on the Prevention of Accident and Trauma at Work. – 2002, September. Elsinore, Denmark.

11. Tucker S., Chmiel N., Turner N., Hershcovis M.S., Stride C.B. Perceived organizational support for safety and employee safety voice: the mediating role of coworker support for safety // Journal of Occupational Health Psychology. – 2008, № 13. P.319...330.

12. Abolfazl Ghahramani, Hamid R. Khalkhali. Development and Validation of a Safety Climate Scale for Manufacturing Industry // Safety and Health at Work. – 2015, №6. P.97...103.

13. <https://237jzd2nbeeb3ocdpdcjau97-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/09/HC560419-EcHPISafetyMLV2D-General.pdf> Electronic resource. Date of access: 06/10/2022.

14. <https://www.talentclick.com/wp-content/uploads/2019/06/SQ-Employer-TalentClick-Sample-Report-1.pdf> Electronic resource. Date of access: 06/10/2022.

15. <https://questpartnership.co.uk/product/personality/shl-workplace-safety-solution-operatives-r-7op/> Electronic resource. Date of access: 06/10/2022.

16. <https://ontarget.ru/solutions#!/tab/348120446-2> Electronic resource. Date of access: 06/10/2022.

Рекомендована кафедрой государственного управления и кадровой политики МГУУ Правительства Москвы. Поступила 10.08.22.

УДК 339.13:004.9

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_27

НЕЙРОМАРКЕТИНГОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТУРИСТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ*

NEUROMARKETING ASPECTS OF THE PROMOTION OF LIGHT INDUSTRY GOODS IN THE TOURIST REGION

О.Б. ЯРОШ, З.А. ЖАВОРОНKOVA

O.B. YAROSH, Z.A. ZHAVORONKOVA

(Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Российская Федерация)

(V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russian Federation)

E-mail: iarosh.olga.cfu@gmail.com, zina-zhavor@mail.ru

Данная работа посвящена определению визуальной заметности товаров легкой промышленности в туристическом регионе на основе методов и алгоритмов нейромаркетинга, а также маркетинговых опросов потребителей. В работе анализировались товары текстильной промышленности, продающиеся в качестве сувенирной продукции в туристических локациях Республики Крым. Особенностью данных товаров является широкое использование символических изображений, как элементов территориального брен-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, программа «Приоритет -2030» №075-15-2021-1323.

динга. Маркетинговый опрос был проведен по методике CAWI (Computer Assisted Web Interviewing) на базе платформы Google Формы среди жителей и туристов Республики Крым. По его результатам было выявлено, что аудитория абсолютно не лояльна в отношении текстильной сувенирной продукции. В ходе исследования визуальной заметности данных товаров на основе метода окулографии было выявлено, что женщины статистически в большей мере обращают внимание на одежду в качестве сувенирной продукции. Выявлены механизмы визуального восприятия товаров легкой промышленности, показано, что использование методов потребительской нейробиологии, которые позволяют изучать невербальное восприятие, расширяет возможности понимания механизмов, лежащих в основе мотивации и принятия решений о покупке. Результаты исследования были визуализированы в графическом и табличном виде. Анализ биометрических данных и показателей маркетингового обследования проведен на базе SPSS 23.0.

This paper is devoted to determining the visual prominence of light industry products in the tourist region on the basis of methods and algorithms of neuromarketing, as well as marketing surveys of consumers. The paper analyzes the textile industry goods sold as souvenirs in tourist locations of the Republic of Crimea. The peculiarity of these products is the extensive use of symbolic images as elements of territorial branding. The marketing survey was conducted by CAWI (Computer Assisted Web Interviewing) on the basis of the Google Forms platform among the residents and tourists of the Crimea. According to its results, it was found that the audience is absolutely disloyal to the textile souvenir products. The study of the visual prominence of these products on the basis of the eye tracking revealed that women statistically pay more attention to clothing as a souvenir. The mechanisms of visual perception of light industry goods were revealed, and it was shown that the use of methods of consumer neurobiology, which allow to study non-verbal perception, expands the possibilities of understanding the mechanisms underlying motivation and making decisions about purchasing. The results of the study were visualized in graphical and tabular form. Biometric data and marketing survey indicators were analyzed using SPSS 23.0.

Ключевые слова: нейромаркетинг, легкая промышленность, туризм, одежда, аромаркетинг.

Keywords: neuromarketing, light industry, tourism, clothing, fragrance marketing.

Введение

Туристическая сфера представляет собой одну из наиболее быстрорастущих отраслей, поскольку она вносит значительный вклад в экономическое развитие регионов [1]. В современных условиях число внутренних туристических потоков неуклонно растет. Развитие туристической активности ведет к активному развитию рынка потребительских товаров, в частности сувенирной продукции. Одним из таких

видов являются товары легкой промышленности. Потребительский рынок текстильных товаров довольно разнообразен, поэтому понимание потребительских предпочтений позволяет не только найти ответы на вопросы о том, как привлечь и удержать целевую аудиторию, но и как с помощью последних достижений прикладной нейробиологии выявить взаимосвязи между потребительским вниманием, предпочтением и выбором.

Среди многочисленных факторов, определяющих спрос на сувенирные товары легкой промышленности, значительную роль играют психологические факторы, так как туристы зачастую подвержены импульсивным приобретениям, зависящим от многочисленных психоэмоциональных воздействий. Изучение визуального восприятия одежды, ее рисунка, текстуры и видов на основе исследования движений глаз является новым направлением исследований не только в отечественной литературе, но и за рубежом.

В наукометрической базе данных РИНЦ насчитывается 1492 статьи в реферируемых журналах, посвященных изучению разных аспектов развития легкой промышленности. Из них, применительно к экономическому развитию данной отрасли, относится 101 работа. Облако тегов, представленное 397 ключевыми словами, позволило выделить тематические кластеры, показывающие основные направления исследований. Их размер и связи прямо пропорциональны частоте появления в изучаемых статьях соответствующих ключевых слов. На основе графовой кластеризации этих данных в программе VOSviewer (рис. 1 – граф облака тегов, посвященных легкой промышленности, извлеченной из базы РИНЦ) были выделены значимые наборы сетевых данных в виде узлов (ключевых слов), извлеченных из статей и ребер (связей) между ними.

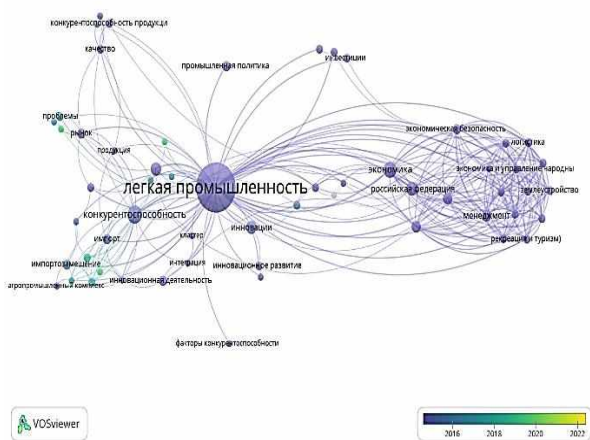


Рис. 1

Библиографический анализ, извлеченных данных показывает, что работы, связанные с анализом легкой промышленности в ракурсе перспектив ее развития для туристической сферы, проводились только в 2015 г, что свидетельствует об отсутствии актуальных исследований с учетом изменений рынка на сегодняшний день. Работы, посвященные экономике легкой промышленности, в основном направлены на изучение предприятий, выпускающих данные товары, либо особенностям развития самого рынка. Так, исследования последних лет направлены на изучение импортозамещения легкой промышленности или же влияние санкций на развитие отрасли. Довольно редко статьи, изучающие потребителя данной продукции. Маркетинговые аспекты востребованности товаров легкой промышленности населением представлены в единичных работах. В то время, как значительный научный интерес представляет анализ визуальной заметности товаров легкой промышленности при продажах, а также оценка факторов, влияющих на изменение интереса и внимания к ним. Эту проблему можно решить с помощью методов отслеживания взгляда потребителей, что позволит проанализировать то, какие атрибуты товара привлекли внимание, как они связаны с оценкой и последующим потребительским выбором.

Целью данной работы является выявление потребительского восприятия товаров легкой промышленности на основе методов маркетинга и нейромаркетинга. Это предопределило постановку и решение следующих задач.

1. Выявить уровень потребительской лояльности к сувенирной продукции – текстильным товарам.

2. Определить особенности визуального восприятия потребителем текстиля, продающегося среди сувенирной продукции.

Методы исследования

В работе применены маркетинговый опрос по методике CAWI (Computer Assisted Web Interviewing) на базе платформы Google Формы среди туристов Республики Крым. Количество респондентов составило 90 человек в возрасте от 18 до 55 лет.

Использование нейромаркетинговых методов исследования было осуществлено в рамках контролируемого лабораторного айтрекинг-эксперимента, в котором приняли участие 32 человека с равномерным гендерным распределением. Согласно рекомендациям исследовательской группы Ж. Нильсона выборка является репрезентативной [6]. Участники были в возрасте от 18 до 25 лет.

Полученные биометрические данные были обработаны с использованием статистических методов, реализованных в программе SPSS 23.0. Визуализация данных, представленная в графическом виде, получена в программе OGAMA.

Результаты исследования

Динамика производства одежды в Республике Крым последние годы имеет тенденцию к спаду (рис. 2 – динамика производства одежды в Республике Крым за 2017-2020 гг. [3]).

Несмотря на усиление туристической привлекательности региона, производство одежды в Республике Крым за последние пять лет сократилось почти на 30%. Подобную тенденцию можно объяснить низким спросом и серьезными проблемами в продвижении местной аутентичной продукции текстильной промышленности.

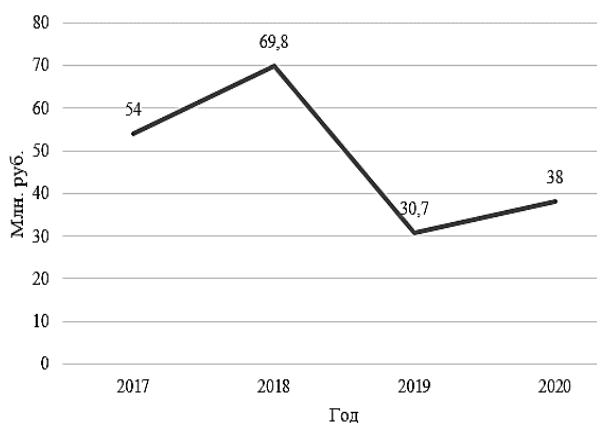


Рис. 2

Товарная структура экспорта и импорта текстильной промышленности (рис. 3 – динамика товарной структуры экспорта и импорта одежды в Республике Крым за 2017-2021 гг.)

показывает очень низкие показатели экспорта товаров, произведенных в исследуемом регионе, что связано с санкционными ограничениями и увеличением соответствующих объемов импорта, особенно из стран дальнего зарубежья. Происхождение товаров текстильной промышленности, продающихся в качестве сувенирных, не всегда аутентично, а их качество может вызывать сомнения и недоверие у потребителей.

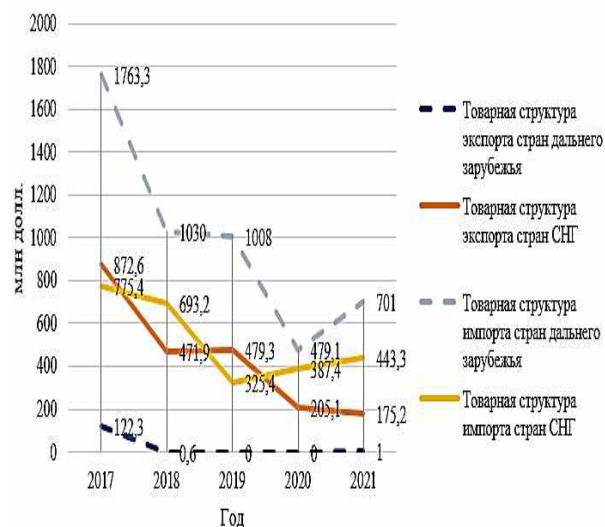


Рис. 3

На первом этапе было проведено маркетинговое исследование, связанное с выявлением лояльности потребителей к выбору текстильной продукции. Оно было направлено на измерение желания рекомендовать товар потреблению. Как правило, для оценки этого используется индекс чистой лояльности (NPS). Он может принимать значения от -100 (экстремально низкое значение, когда все покупатели являются "критиками" предлагаемого продукта) до 100 (обозначающего уровень, когда все покупатели сторонники), в анкетных опросах выявление данного индекса проводилось на основе метода балльной оценки к определенному продукту, по соотношению, приведенному в формуле:

$$NPS = \% \text{ сторонников (9-10 баллов)} - \% \text{ критиков (1-6 баллов)}. \quad (1)$$

В ходе определения уровня лояльности аудитории к сувенирной продукции был проведен опрос среди жителей и туристов Республики Крым. Его результаты показали уровень лояльности населения к разным видам сувениров, что позволило провести соответствующую сегментацию аудитории [2]. Так, положительные значения индекса говорят, что среди опрошенных большее количество сторонников продукта, а отрицательные его значения – свидетельствуют об обратном.

Полученные результаты приведены в табл. 1.

Данные опроса и расчет показателей NPS показали, что наименьшую приверженность опрошенные продемонстрировали в отношении сувенирной продукции легкой промышленности – одежды с символикой, где NPS оказался значительно ниже нуля, что свидетельствует об отсутствии лояльности к данной группе товаров.

Т а б л и ц а 1

Сторонники	Критики
-косметические изделия (81,6%);	-одежда с символикой (-61,5%);
-аутентичные продовольственные товары (66,2%);	-изделия из дерева (-6,1%);
ремесленные сувениры (7,6%);	
-местный алкоголь (3,1%);	

Предпочтения покупателей имеют широкие вариации, поскольку они формируются под воздействием ряда факторов, влияющих на дистрибуцию данного товара в части его представленности в точках сбыта, индивидуальных предпочтений, установок и намерений потенциальных туристов, особенностей культуры, этнической принадлежности и самого контекста продвижения. Особенность выкладки сувенирных текстильных товаров заключается в том, что их продажа осуществляется наряду с другими сопутствующими продовольственными и непродовольственными товарами, которые не соответствуют общей концепции, подбираются хаотично и не формируют какую-либо общую идею при соответствующем бренд-позиционировании.

Основным каналом реализации сувенирной продукции являются нестационарные торговые объекты, которые не оборудованы специальными примерочными. Торговое пространство подобного объекта, как правило, перегружено большим количеством разнообразных групп товаров. Следовательно, его восприятие потребителем перегружено и затруднено. Визуальное внимание к выкладке является важным этапом при принятии решений о покупке. Перед тем, как это происходит, потребитель проходит несколько этапов, влияющих на его выбор: 1) знакомство с выкладкой; восприятие значимых и интересующих товаров (уровень восприятия будет зависеть от уровня интенсивности соответствующей нужды); 2) после визуального восприятия потребитель может обрабатывать полученную информацию на уровне "периферийной обработки или эмоциональной" с точки зрения формата продукта, его текста, рисунка, цвета, размера и местоположения либо "глубокой", когда к процессу выбора подключено мышление, человек взвешивает варианты и рассчитывает выгоды, подсчитывает затраты. Причем заметим, что последний вариант покупок характерен для дорогой и элитной одежды.

На втором этапе было исследовано распределение визуального внимания в нестационарных торговых выкладках с помощью айтрекинга. Данная технология позволяет отслеживать взгляд потребителя, что позволяет получить ответы на прикладные вопросы о том, на какую информацию обращает покупатель внимание и в каком порядке, какие товары были замечены при выкладке, а какие проигнорированы, какие виды товаров и брендов чаще всего встречаются и какой дизайн лучше привлекает внимание. Эти данные позволяют в дальнейшем дать практические рекомендации по прогнозированию поведения покупателя при принятии им решения о покупке. Для этого необходимо сочетать данные об отслеживании взгляда с показателями выбора им товара и вовлеченности.

Измерение визуального внимания связано с изучением движения глаз при предъявлении различных стимулов. Глазодвига-

тельное поведение состоит из саккад и фиксаций. Фиксации имеют решающее значение для определения уровня визуального внимания, именно в это время происходит когнитивная обработка информации мозгом, а саккады – характеризуют перемещение взгляда с одного интересующего места на другое [7]. Айтрекер – специализированный инфракрасный прибор, который ведет запись биометрических показателей: времени (общее, среднее медиана) зрительных фиксаций, и их количество, а также саккад (скорости, длина). Далее, на этой основе рассчитываются метрики визуального внимания [8].

Высокая и низкая плотность фиксаций взгляда отражается на соответствующих

тепловых картах. Они, в свою очередь, показывают плотность фиксации взгляда, которые в зависимости от интенсивности отмечаются красным цветом – высокая (плотность от 75%); желтым (плотность от 50 до 74%); зеленой (плотность от 25 до 49 %).

Тепловые карты (слева), а также карты перемещений взгляда (справа), полученные в ходе эксперимента, отображены на рис. 4.

Тепловые карты, по своей сути, являются картами визуального внимания, которые отображают горячие точки на изображении. Карты перемещений показывают последовательность изучения стимульного материала, а цифрами изображена цепочка зрительных фиксаций и по ним можно определить траекторию зрительного внимания.

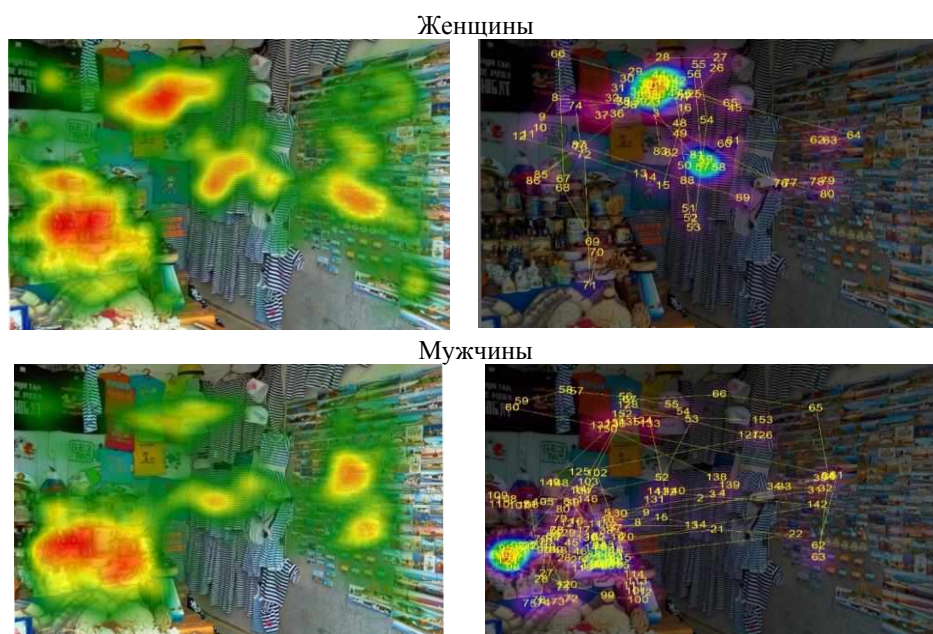


Рис. 4

Согласно полученным результатам у женщин было выше на 7% количество зрительных фиксаций на одежде, общее время ее изучения также было больше на 5%, чем у мужчин. Вполне закономерно возникает вопрос о том, может ли отслеживание взгляда дать значимую информацию о ценности, которую потребители придают атрибутам одежды при ее выборе. Наши исследования показывают, что все неоднозначно. Несмотря на более высокие зрительные фиксации на одежде женщин, при последу-

ющем опросе они поставили низкие баллы изучаемым образцам одежды. Например, по пятибалльной шкале их средняя оценка составила 2,6 баллов, в то время как мужчины оценили эти же товары в 3,11 баллов. Отсюда следует вывод, что визуальное внимание не связано с высокой оценкой товара. Поиск триггеров, которые могли бы активизировать покупательскую активность и подтолкнуть к принятию решений, привел к третьему этапу исследования, на котором проверялась гипотеза о влиянии

аромамаркетинга на потребительский выбор сувенирной продукции, в частности одежды. Известно, что значительное влияние на подсознательное восприятие товара оказывают всевозможные ароматы [4]. Их влияние на визуальное восприятие было оценено в рамках двух групп – экспериментальной и контрольной. Так, в экспериментальной группе предъявление стимульных материалов для изучения сопровождалось

распылением масла лаванды горной, которая известна своим благоприятным воздействием на психофизиологическое состояние испытуемых за счет снижения ситуативной и личностной тревожности [5]. Сравнительный анализ данных, полученных в этих группах, позволил выявить уровень взаимосвязи между показателями на основе корреляционного анализа по Спирмену [9], (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатели	Средняя продолжительность фиксации (ms)	Фиксация/Соотношение саккад	Время демонстрации всего слайда (ms)	Количество фиксаций (count)	Фиксации (count/s)	Продолжительность фиксации, медиана (ms)	Средняя скорость саккады (px/s)	Средняя длина саккады (px)	Скорость траектории (px/s)	Расстояние между фиксациями (px)
Средняя продолжительность фиксации (ms)	1,000	,698	,151	-,058	-,702	,637	-,122	-,154	-,497	-,098
Фиксация/Соотношение саккад	,698	1,000	-,023	-,083	-,057	,444	-,164	-,393	-,361	-,190
Время демонстрации всего слайда (ms)	,151	-,023	1,000	,929	-,152	,218	,227	,269	,146	,898
Количество фиксаций (count)	-,058	-,083	,929	1,000	,117	,027	,295	,269	,275	,943
Фиксации (count/s)	-,702	-,057	-,152	,117	1,000	-,480	,108	-,144	,384	,060
Продолжительность фиксации, медиана (ms)	,637	,444	,218	,027	-,480	1,000	-,073	-,492	-,720	-,134
Средняя скорость саккады (px/s)	-,122	-,164	,227	,295	,108	-,073	1,000	,163	,254	,260
Средняя длина саккады (px)	-,154	-,393	,269	,269	-,144	-,492	,163	1,000	,825	,536
Скорость траектории (px/s)	-,497	-,361	,146	,275	,384	-,720	,254	,825	1,000	,492
Расстояние между фиксациями (px)	-,098	-,190	,898	,943	,060	-,134	,260	,536	,492	1,000

В том случае, когда коэффициент корреляции ближе к нулю, это свидетельствует об отсутствии связи между исследуемыми

показателями. Градация корреляционной связи производилась в соответствии со шкалой Чеддока (табл. 3) [10].

Т а б л и ц а 3

Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Высокая
0,9-0,99	Весьма высокая

Чем ближе коэффициент к 1 или -1, тем сильнее взаимосвязь между признаками. В соответствии с указанным условием следует выделить ряд показателей, которые согласно данным табл. 2 имеют сравнительно высокую связь:

- 1) умеренная связь:
 - "Средняя продолжительность фиксации" и "Скорость траектории" (-0,497);
- 2) заметная связь:
 - "Средняя длина саккады" и "Расстояние между фиксациями" (0,536);
 - "Средняя продолжительность фиксации" и "Продолжительность фиксации, медиана" (0,637);
 - "Средняя продолжительность фиксации" и "Фиксация/Соотношение саккад" (0,698);
- 3) высокая связь:

- "Средняя продолжительность фиксации" и "Фиксация" (-0,702);
 - "Продолжительность фиксации, медиана" и "Скорость траектории" (-0,72);
 - "Средняя длина саккады" и "Скорость траектории" (0,825);
 - "Время демонстрации всего слайда" и "Расстояние между фиксациями" (0,898);
 - 4) весьма высокая связь:
 - "Время демонстрации всего слайда" и "Количество фиксаций" (0,929);
 - "Количество фиксаций" и "Расстояние между фиксациями" (0,943).
- Следует обратить внимание на конкретную связь между двумя показателями, а именно "Средняя длина саккады" и "Скорость траектории" (0,825), где коэффициенты корреляции у экспериментальных групп значительно разнятся (табл. 4 и 5).

Т а б л и ц а 4

Модель	R	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стандартная ошибка оценки
1	,854 ^a	,730	,709	95,6319501
Предикторы: (константа), скорость траектории б) Если не указано другое, статистика основана только на наблюдениях, для которых аромат = лаванда в) Зависимая переменная: средняя длина саккады				
2	,694 ^a	,482	,445	89,1148375
Предикторы: (константа), скорость траектории б) Если не указано другое, статистика основана только на наблюдениях, для которых аромат ≠ лаванда в) Зависимая переменная: средняя длина саккады				

Согласно данным табл. 4 значение коэффициента множественной детерминации $R^2=0,73$ у группы респондентов, проходивших эксперимент под воздействием аромата эфирного масла лаванды горной, был выше, а это означает, что 73% результатов, связанных со скоростью траектории взгляда, можно объяснить вкладом ароматического воздействия на экспериментальную группу. Показатели тепловых карты и карт перемещений взгляда подтверждают,

что увеличивалась зрительная концентрация внимания и усиливалась фокусировка на деталях.

Следует отметить, что значение коэффициента множественной детерминации у второй группы $R^2=0,44$, что говорит о том, что построенная модель верна только для 44,5% случаев, в результате которых увеличение скорости траектории влечет за собой увеличение средней длины саккад.

Т а б л и ц а 5

Модель	Сумма квадратов	ст.св.	Средний квадрат	F	Значимость	
1	Регрессия	321164,518	1	321164,518	35,117	,000 ^b
	Остаток	118891,108	13	9145,470		
	Всего	440055,626	14			
2	Регрессия	103528,325	1	103528,325	13,036	,003 ^b
	Остаток	111180,360	14	7941,454		
	Всего	214708,684	15			
Зависимая переменная: средняя длина саккады						
б) Предикторы: (константа), скорость траектории						

На основании результатов, представленных в табл. 5, можно сделать заключение о том, что существуют статистически значимые различия ($p < 0,05$) между средней длиной саккад и скоростью траектории взгляда в контрольной и экспериментальной группах. Данный вывод важен для понимания паттернов визуального внимания, что позволяет помочь в понимании того, как визуальная информация усваивается и обрабатывается при воздействии аромамаркетинга и оценить возможности его применения при продажах сувенирной продукции.

ВЫВОДЫ

Реализация текстильной сувенирной продукции в туристическом регионе сталкивается с рядом сложностей, среди которых: непрофессиональная, хаотичная выкладка товаров без общей концепции бренд-позиционирования; проблематичный вид нестационарных торговых объектов, где, как, правило нет оборудованных примерочных; отсутствие контроля за качеством продаваемых текстильных товаров в части наличия сертификатов; формальной невозможности для потребителя получить гарантии качества, зачастую неизвестным производителем.

Практическое отсутствие общего контроля за рынком сувенирной продукции приводит к низким потребительским оценкам и отсутствию лояльности к сувенирной одежде, а визуальное ее восприятие также усложнено из-за информационной перегруженности нестационарных торговых объектов разными типами и группами товаров, не отвечающих общей идее в продвижении конкретной туристической локации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stankova M., Amoiradis C. Effects of promotion practices on the sustainable development of tourist destinations. – 2019. V. VII. P. 84...96.
2. Greensight E. by. NPS-индекс потребительской лояльности – Ensi by Greensight на vc.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/greensight/126471-nps-indeks-potrebitel'skoy-loyalnosti> (дата обращения: 08.05.2022).

3. Республика Крым в цифрах. 2020 // Крат. стат. сб. – Крымстат- С., 2021.

4. Аромамаркетинг: как с помощью запахов заставить клиентов покупать [Электронный ресурс]. URL: <https://spark.ru/startup/biznes-ru/blog/18403/aromamarketing-kak-s-pomoschiu-zapahov-zastavit-klientov-pokupat> (дата обращения: 10.06.2022).

5. Кириллова А.В., Панова С.А., Лесова Л.Д. Анализ влияния эфирного масла лаванды на психофизиологическое состояние человека // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2006. Т.19, №4. С. 117...120.

6. Репрезентативность выборочных данных [Электронный ресурс]. URL: <https://loginom.ru/blog/representativity> (дата обращения: 10.07.2022).

7. Pernice, K, Nielsen, J., 2009. How to conduct eye tracking studies. Warm Springs: Nielson Norman Group, 160p.

8. Окулографические исследования: что может рассказать взгляд | GUI Machine [Электронный ресурс]. URL: <https://guimachine.ru/?p=1037> (дата обращения: 10.07.2022).

9. Кошелева Н.Н. Корреляционный анализ и его применение для подсчета ранговой корреляции Спирмена // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. № 5. С. 23...26.

10. Жаворонкова З.А., Ярош О.Б. Нейробрендинг в формировании эффективных туристических локаций Республики Крым [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48308489> (дата обращения: 10.06.2022).

REFERENCES

1. Stankova M., Amoiradis C. Effects of promotion practices on the sustainable development of tourist destinations. – 2019. V. VII. P. 84...96.
2. Greensight E. by. NPS - Consumer Loyalty Index — Ensi by Greensight on vc.ru [Electronic resource]. URL: <https://vc.ru/greensight/126471-nps-indeks-potrebitel'skoy-loyalnosti> (date of application: 08.05.2022).
3. The Republic of Crimea in numbers. 2020: Short stat.sat. – Krymstat-S, 2021.
4. Aromamarketing: how to make customers buy with the help of smells [Electronic resource]. URL: <https://spark.ru/startup/biznes-ru/blog/18403/aromamarketing-kak-s-pomoschiu-zapahov-zastavit-klientov-pokupat> (date of application: 10.06.2022).
5. Kirillova A.V., Panova S.A., Lesova L.D. Analysis of the effect of lavender essential oil on the psychophysiological state of a person // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tauride National University. – 2006. Vol.19, № 4. P. 117...120.
6. Representativeness of sample data [Electronic resource]. URL: <https://loginom.ru/blog/representativity> (date of application: 10.07.2022).
7. Pernice K, Nielsen J. 2009. How to conduct eye tracking studies. Warm Springs: Nielson Norman Group, 160p.

8. Oculographic studies: what the view can tell | GUI Machine [Electronic resource]. URL: <https://guimachine.ru/?p=1037> (date of application: 10.07.2022).

9. Kosheleva N.N. Correlation analysis and its application for calculating Spearman's rank correlation // Actual problems of humanities and natural sciences. – 2012, № 5. P. 23...26.

10. Zhavoronkova Z. A., Yarosh O. B. Neurobranding in the formation of effective tourist locations of the

Republic of Crimea [Electronic resource]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48308489> (date of application: 10.06.2022).

Рекомендована кафедрой маркетинга, торгового и таможенного дела Института экономики и управления ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского". Поступила 12.08.22.

УДК 677.017.2/.7
DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_37

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
УГЛОВОГО УСКОРЕНИЯ АКТИВНОГО ЗАЖИМА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ РАЗРЫВА ВОЛОКНА
НА МАШИНЕ КОПРОВОГО ТИПА**

**THE IMPROVEMENT OF THE METHOD
OF THE ANGULAR ACCELERATION ACTIVE CLAMP
CALCULATION FOR THE DETERMINATION OF THE FORCE
OF FIBER BREAKING ON THE COPRA TYPE MACHINE**

А.В. ОРЛОВ, Е.Л. ПАШИН

A.V. ORLOV, E.L. PASHIN

(Костромской государственной университет,
Костромская государственная сельскохозяйственная академия)

(Kostroma State University,
Kostroma State Agricultural Academy)

E-mail: aorlov@list.ru; evgpashin@yandex.ru

В статье обоснован алгоритм обработки "шумовых составляющих" исходных сигналов и кинематических характеристик, необходимых для расчета разрывной нагрузки волокна, испытываемого на новой машине копрОВОГО типа. Для исключения случайных искажений анализируемой полезной составляющей углового ускорения целесообразно использовать сочетание методов предварительного подавления "зашумленных" сигналов и численного дифференцирования на результатах, полученных посредством симуляции процесса разрыва волокон. Установлены рациональные варианты обработки сигналов: при дифференцировании - метод П. Голобородько при размере окна дифференцирования $N = 7$; при сглаживании - метод простого скользящего среднего с размером окна $M = 3$. При таких вариантах ошибка в определении экстремума ускорения не превышает 3,5%, а уровень разброса его значений, характеризующих "зашумление" - не более 0,5%.

The article substantiates the algorithm for processing the "noise components" of the original signals and kinematic characteristics necessary to calculate the breaking load of the fiber tested on a new pile type machine. To eliminate random distortions of the analyzed useful component of the angular acceleration, it is advisable to use a combination of methods for preliminary suppression of "noisy" signals

and numerical differentiation on the results obtained by simulating the process of breaking fibers. The following rational options for signal processing are established: while differentiating - the method of P. Goloborodko with a differentiation window size $N = 7$; while smoothing - the simple moving average method with a window size of $M=3$. With such options, the error in determining the acceleration extremum does not exceed 3.5%, and the level of spread of its values characterizing "noise" is not more than 0.5%.

Ключевые слова: волокно, разрыв, машина копрового типа, разрывное усилие, сигнал, случайные изменения сигналов, метод дифференцирования, метод сглаживания.

Keywords: fiber, breaking, punching machine, breaking force, signal, random signal changes, differentiation method, smoothing method.

Для функционирования разрывной машины копрового типа при определении разрывной нагрузки $P_{\text{разр}}$ требуется знание угловой скорости $\dot{\varphi}(t)$ и углового ускорения $\ddot{\varphi}(t)$ зажима, установленного на перемещающемся маятнике [1].

Расчет этих кинематических характеристик производят на основе анализа изменяющихся во времени угловых координат, фиксируемых специальным датчиком (энкодером). Однако их значения могут быть "зашумлены" случайными влияниями факторов, обусловленными особенностями конструкции машины, податливостью ее рабочих органов и, особенно, в узлах подвеса и самого маятника [2]. Причиной таких влияний могут быть также неравномерно действующие силы трения разной природы и изменяющиеся по величине потери энергии маятника через станину машины, погрешности, вносимые энкодером [3], а также методикой регистрации угловых координат с использованием ЭВМ (аппаратные ошибки).

Полностью исключить влияние указанных факторов практически невозможно. Поэтому требуется минимизация проявления случайных факторов путем разработки и использования алгоритма расчета указанных выше кинематических характеристик перемещения активного зажима разрывной машины.

Как известно [1], величина разрывного усилия определяется значением максимального отрицательного углового уско-

рения $\ddot{\varphi}(t)$, получаемого, как производная при двойном дифференцировании значений угловой координаты маятника $\varphi(t)$ и угловой скорости $\dot{\varphi}(t)$. Поэтому точность определения разрывного усилия будет определяться снижением погрешности углового ускорения $\ddot{\varphi}(t)$.

Значение искомого ускорения в момент времени t_1 , определяется суммой детерминированной функции ξt и случайной компоненты ε_t . Допустим, что ε_t подчиняется закону нормального распределения и соответствует условию гомоскедастичности и отсутствия автокорреляции [4]. Заметим, что приемы обработки сигналов, способные уменьшить случайные отклонения, могут исказить величину ξt и поэтому выбор этих приемов должен быть рациональным и оцениваться с использованием специальных критериев.

В нашем случае важнейшим критерием при обосновании алгоритма расчета $P_{\text{разр}}$ является минимизация занижения ее значения, например, вследствие сглаживания функций указанных кинематических величин. Сутью этого критерия может быть абсолютное или относительное расхождение между найденной и ожидаемой величиной максимального (по модулю) углового ускорения.

Очевидно, что величина погрешности при вычислении углового ускорения маятника будет зависеть от уровня исходного

шума, усиленного процедурой дифференцирования. Степень такого усиления будет зависеть от приема дифференцирования. Применительно к нашему случаю, когда функция угловых координат $\varphi(t)$ изначально задается табличным способом, то для нахождения $\dot{\varphi}(t)$ и $\ddot{\varphi}(t)$ рекомендуется использовать методы численного дифференцирования [5]. В этом случае общая погрешность вычисления производной может рассматриваться как сумма погрешностей округления и усечения, определяемой величиной отбрасываемого остаточного члена интерполяционной формулы. Погрешность округления у формул численного дифференцирования обратно пропорциональна h^m , где h – шаг численного дифференцирования (m – порядок производной). Она увеличивается с ростом порядка производной функции и с уменьшением шага h численного дифференцирования. Погрешность же усечения при таких условиях – убывает. Поэтому при численном дифференцировании стараются выбрать оптимальный шаг расчета в окрестностях точки (для которой определяется значение производной) – окна дифференцирования N . Как правило, N должно быть нечетным числом, большим или равным 3. Чрезмерно большие значения N увеличивают время работы алгоритма, а также увеличивают потери данных в начале и конце дифференцируемого участка. В то же время слишком малые значения N увеличивают чувствительность алгоритма к шумам иной природы. Из этого следует желательность сглаживания кратковременных (порядка 2...3 отсчетов) выбросов анализируемых величин. С учетом сказанного для исследования были выбраны значения окон $N=5, 7, 9, 11, 13$.

Были рассмотрены два метода численного дифференцирования: классический метод конечных разностей (далее КР) [6] и метод, предложенный П. Голобородько (далее Г) [7], [8]. Оба метода основаны на аппроксимации участка дифференцируемой функции полиномом, но используют разные алгоритмы расчета коэффициентов этого полинома.

Для минимизации шума, присутствующего

в массиве значений угловой скорости, в ходе расчета углового ускорения предложено использовать приемы сглаживания сигнала при условии, что относительное расхождение между фактической и ожидаемой (расчетной) величиной экстремума ускорения не будет превышать 3...5%.

Анализ приемов обработки данных путем сглаживания для решения подобных задач выявил методы "скользящих средних" [9]. Наиболее распространенными из них являются метод "простой скользящей средней" (SMA) и "экспоненциально взвешенной скользящей средней" (EWMA) [10].

При использовании SMA в условиях нестационарности исследуемого процесса целесообразно использовать усреднение более низких порядков, как способное быстро реагировать на изменения составляющей ξt . В случае применения метода EWMA величину, необходимую для расчетов, постоянной сглаживания рекомендовано выбирать на основе условия минимального влияния при сглаживании на изменение ξt , согласно общепринятым рекомендациям [10].

Таким образом, при выборе условий, связанных с расчетом $P_{\text{разр}}$, использовали два параметра: для процедуры дифференцирования – размер окна дифференцирования N (5, 7, 9, 11, 13); для процедуры сглаживания по методу SMA – число наблюдений M , по которому считается скользящая средняя (1(без сглаживания), 3, 5, 7, 9, 11, 13), а для метода EWMA – величина постоянной сглаживания α (0,5...0,9). В итоге для оценки приемов дифференцирования приняли следующие варианты: метод конечных разностей (КР) при величине окна $N=3$ – КР3; $N=5$ – КР5; $N=7$ – КР7; $N=9$ – КР9; $N=11$ – КР11; $N=13$ – КР13; метод Голобородько (Г) при величине окна $N=5$ – Г5; при $N=7$ – Г7; $N=9$ – Г9; $N=11$ – Г11; $N=13$ – Г13. Для сглаживания данных: метод SMA по 3 точкам – SMA3, по 5 точкам – SMA5; по 7 точкам – SMA7; по 9 точкам – SMA9; по 11 точкам – SMA11; метод EWMA при постоянной сглаживания $\alpha = 0,5$ – EWMA0,5; при $\alpha = 0,6$ – EWMA0,6; при $\alpha = 0,7$ – EWMA0,7; $\alpha = 0,8$ – EWMA0,8; $\alpha = 0,9$ – EWMA0,9.

Важным условием использования указанных вариантов обработки данных при оценке их эффективности является обеспечение идентичности условий работы вычислительных алгоритмов. Такое возможно только при использовании истинных характеристик испытуемых образцов. Однако обеспечить эти условия путем использования реальных экспериментальных данных, имеющих варьирование вследствие неоднородности свойств, характерных для волокнистых материалов, представляется сложной и трудно реализуемой задачей.

Поэтому предложили использовать исходные данные, полученные как результаты симуляции процесса разрыва волокнистого образца, используя метод [11]. Такой подход исключает указанные недостатки и позволяет получить эталонные законы изменения угловой координаты $\varphi(t)$ и угловой скорости $\dot{\varphi}(t)$.

Для осуществления симуляции процесса разрыва волокон были выбраны следующие их свойства и параметры разрывной машины: угол зарядки маятника ($\varphi_0 = 62^\circ$; масса маятника $m = 2,78$ кг; момент инерции маятника $I = 0,104$ Н·м²; расстояние от оси подвеса до центра масс $r = 175$ мм; расстояние от оси подвеса до зажима с образцом $R = 58$ мм; число элементарных волокон в образце $n = 300$; упругость элементарных волокон Y с математическим ожиданием $\mu_y = 300$ Н/м и средним квадратическим отклонением $\sigma_y = 80$ Н/м; вязкость волокон B с $\mu_B = 0,1$ Н/м² и $\sigma_B = 0,01$ Н/м²; слабина волокон СЛ с $\mu_{сл} = 3$ мм и $\sigma_{сл} = 1$ мм; предельная деформация волокон ϵ с $\mu_\epsilon = 3$ мм и $\sigma_\epsilon = 1$ мм. При этом полагали, что Y , B , СЛ и ϵ подчиняются закону нормального распределения.

Для получения исходного зашумленного сигнала использовали следующий прием. Был зарегистрирован холостой ход реальной разрывной машины, в частности, интервалы времени Δt_{i1} между последовательными сигналами датчика угловых координат. Затем для каждого Δt_{i1} было вычислено значение $\Delta t'_{i1} = \Delta t_{i1} - 0,5(\Delta t_{i-1} + \Delta t_{i+1})$. Это значение было принято за величину исходной шумовой составляющей, суммируе-

мой с временным шагом, вычисленным в ходе симуляции.

Обработку полученных при симуляции данных производили с использованием двух критериев, связанных с точностью определения углового ускорения. Один из них (критерий А) определял относительное изменение максимально отрицательного значения углового ускорения, фиксируемого в момент разрыва пучка волокон. Второй критерий (Б) характеризовал средний уровень разброса (уровень шума) значения углового ускорения.

Применительно ко всем сочетаниям указанных выше вариантов дифференцирования и сглаживания (всего 110 вариантов) были рассчитаны значения угловых ускорений на основе указанной методики симуляции движения маятника и разрыва волокон. После этого для каждого варианта рассчитали значения критериев А и Б. Для обеспечения их сравнимости провели процедуру нормализации их величин. Полученные данные представлены графически на рис. 1.

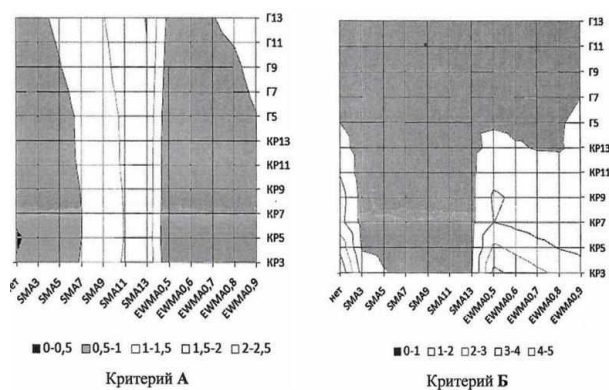


Рис. 1

Для выявления наилучших условий обработки данных с учетом одновременного изменения критериев А и Б провели произведение их полученных массивов, получив обобщенный критерий АБ (рис. 2). Анализ областей с наилучшими (минимальными) значениями результатами обобщенного критерия АБ выявил следующее. В границах этих областей существуют варианты дифференцирования и сглаживания, при которых обеспечивается относительное изменение экстремального значения ускорения не более 3,5%. При этом величина сред-

него разброса значений ускорения при определенных сочетаниях исследуемых вариантов может не превышать 0,5%. Такие результаты формируются при дифференцировании данных по методу Голобородько с величиной окна $N = 7$, а также при использовании при сглаживании данных метода "простой скользящей средней" (SMA) по трем точкам.

В табл. 1 представлено сравнение вариантов дифференцирования и сглаживания в наилучшей зоне формирования обобщенного критерия АБ.

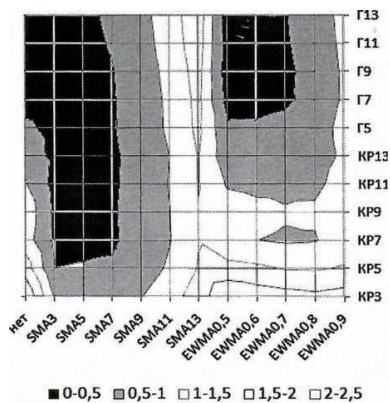


Рис. 2

Таблица 1

Абсолютные значения параметров данных при лучших вариантах дифференцирования и сглаживания			
Ошибка в определении экстремума ускорения, %		Уровень "шума", ед.	
	SMA3		SMA3
КР3	2,5	КР3	1,8
КР5	2,4	КР5	1,0
КР7	2,4	КР7	0,8
КР9	2,5	КР9	0,8
КР11	2,7	КР11	0,6
КР13	2,9	КР13	0,6
Г5	2,9	Г5	0,6
Г7	3,3	Г7	0,4
Г9	3,5	Г9	0,3
Г11	3,7	Г11	0,3
Г13	4,0	Г13	0,3

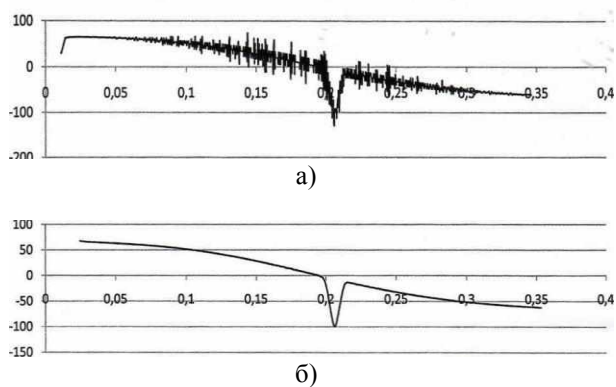


Рис. 3

Для наглядности достижения условий эффективности обработки сигналов посредством симуляции при расчете углового ускорения по выявленным вариантам на рис. 3 представлена графическая зависимость изменения $\ddot{\phi}(t)$ при минимальном исключении проявления случайных факторов (рис. 3-а – изменение $\ddot{\phi}(t)$ при использовании численного дифференцирования

при использовании метода КР3, без сглаживания) в сравнении с данными по этой же кинематической характеристике, но полученной по результатам выявленных рациональных вариантов дифференцирования и сглаживания (рис. 3-б – изменение $\ddot{\phi}(t)$ при использовании выявленных вариантов дифференцирования и сглаживания).

Как следует из графиков, использование выбранного сочетания методик дифференцирования и сглаживания обеспечивает существенное подавление шумовой составляющей ϵ_t . В то же время общая форма графика и величина пика ускорения изменяется незначительно. Достижение таких условий позволяет определять величину экстремума ξ_t , а также моменты начала и окончания формирования этого экстремума. Это позволяет обеспечить необходимый расчет таких характеристик, как разрывная нагрузка и величина деформации (с учетом ее составляющих при разрыве) испытываемого материала.

ВЫВОДЫ

1. Присутствие трудно устранимых случайных факторов работы разрывной машины копрового типа [1] вносит в искомые величины угловой скорости и ускорения активного зажима шумовую составляющую, что требует использования алгоритмов ее подавления.

2. Для исключения случайных искажений анализируемой полезной составляющей углового ускорения целесообразно использовать сочетание методов предварительного подавления "зашумленных" сигналов и численного дифференцирования. При этом оценку эффективности их использования осуществлять на результатах, полученных посредством симуляции процесса разрыва волокон.

3. Наилучшим сочетанием вариантов обработки сигналов является использование при дифференцировании метода П. Голлородко при размере окна дифференцирования $N = 7$, а при сглаживании – метода простого скользящего среднего с размером окна $M = 3$. При таких вариантах ошибка в определении экстремума ускорения не превышает 3,5%, а уровень разброса его значений, характеризующих "зашумление" – не более 0,5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашин Е. Л., Орлов А. В. Инструментальная система контроля разрывных характеристик льняного волокна // *Материалы и технологии*. – 2018, №2. С. 18...21.
2. Голубков В. С., Пирогов К.М., Смущкович Б.Л. Испытательные машины в текстильном материаловедении. – М.: Легпромбытиздат, 1988.
3. ОАО "СКБ ИС", С-П, каталог продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skbis.ru/catalog/rotary/incremental-rotary-encoders/iir-158a>, (дата обращения 21.05.2020 г).
4. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003.
5. Калашников А. Л., Федоткин А.М., Фокина В.Н. Методические указания к решению задач по численному дифференцированию М-54. – Нижний Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2016.
6. Соловейчик Ю. Г., Рояк М. Э., Персова М. Г. Метод конечных элементов для скалярных и векторных задач. – Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2007.
7. Численное дифференцирование зашумленных данных или функций [Электронный ресурс]. Ре-

жим доступа: <http://www.holoborodko.com/pavel/numerical-methods/numerical-derivative/smooth-low-noise-differentiators/>, (дата обращения 21.05.2020 г).

8. Savitzky, A.; Golay, M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures // *Analytical Chemistry*. – 36 (8). 1964. P.1627...1639.
9. Chatfield C. The Analysis of Time Series. An introduction. – Chapman & Hall/CRC, 1995. P. 13.
10. Gardner E.S. Exponential smoothing: the state of the art // *Journal of Forecasting*. – 1985. №4. P. 1...28.
11. Орлов А.В., Пашин Е.Л. Моделирование процесса одноосного разрыва совокупности волокон с учетом их свойств на машине копрового типа // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, №4. С. 60...65.

REFERENCES

1. Pashin E. L., Orlov A. V. Instrumental system for monitoring the discontinuous characteristics of flax fiber // *Materials and technologies*. – 2018, № 2. S.18...21.
2. Golubkov V.S., Pirogov K.M., Smushkovich B.L. Testing machines in textile materials science. – M.: Legprombytizdat, 1988.
3. JSC "SKB IS", S-P, product catalog [Electronic resource]. Access mode: <https://skbis.ru/catalog/rotary/incremental-rotary-encoders/iir-158a>, (accessed 21.05.2020 G).
4. Lukashin Yu. P. Adaptive methods of short-term forecasting of time series. - M.: Finance and statistics, 2003.
5. Kalashnikov A.L., Fedotkin A.M., Fokina V.N. Guidelines for solving problems on numerical differentiation M-54. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State. un-t, 2016.
6. Yu. G. Soloveichik, M. E. Royak, and M. G. Persova, Finite Element Method for Scalar and Vector Problems. - Novosibirsk: Novosib. state tech. un-t, 2007.
7. Numerical differentiation of noisy data or functions [Electronic resource]. Access mode: <http://www.holoborodko.com/pavel/numerical-methods/numerical-derivative/smooth-low-noise-differentiators/>, (Accessed 05/21/2020).
8. Savitzky, A.; Golay, M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures // *Analytical Chemistry*. – 36 (8). 1964. P.1627...1639.
9. Chatfield C. The Analysis of Time Series. Introduction. – Chapman & Hall/CRC, 1995. P. 13.
10. Gardner E.S. Exponential smoothing: the state of the art // *Journal of Forecasting*. – 1985. №. 4. P.1...28.
11. Orlov A.V., Pashin E.L. Simulation of the process of uniaxial rupture of a set of fibers, taking into account their properties on a pile-type machine // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, №4. P. 60...65.

Рекомендована кафедрой механических систем в АПК Костромской ГСХА. Поступила 30.03.22.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПАКЕТОВ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

RESEARCH OF BOTH THE PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS AND PACKAGES OF CLOTHING FOR PROTECTING THE THERMAL EXPOSURE OF THE ELECTRIC ARC

Ю.С. ШУСТОВ, Ж.С. ПУШКИНА

YU.S. SHUSTOV, ZH.S. PUSHKINA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: 6145263@mail.ru

Проведены исследования воздействия энергии, выделяемой электрической дугой, на термостойкость спецодежды в зависимости от уровней защиты. Осуществлено сравнение значений эталонной кривой Столл, обозначающей физиологический предел кожи человека, после которого возникает ожог II степени, с полученными данными исследуемых образцов. Приведены сравнительные значения электродугового термического воздействия рассматриваемых материалов и различных комбинаций пакетов материалов.

Investigations of the effect of the energy released by an electric arc on the thermal resistance of overalls, depending on the level of protection, are presented. The comparison of the values of the Stoll standard curve, which denotes the physiological limit of human skin, after which a 2nd degree burn occurs from the obtained data of the studied samples, is carried out. Comparative values of the electric arc thermal effect of the materials under consideration and various packages of materials are given.

Ключевые слова: специальная одежда, термостойкость, уровень защиты, кривая Столл.

Keywords: special clothing, heat resistance, protection level, Stoll curve.

Повышение требований к изделиям, выпускаемым текстильной промышленностью, немислимо без оценки качества этой продукции. Особенно это относится к текстильным материалам, применяемым для защиты от термического воздействия электрической дуги [1...5].

В качестве объектов исследования были выбраны ткани, наиболее часто используемые для пошива специальной одежды, применяемой ведущими компаниями энергетической промышленности, причем это ткани, утеплители, подкладка (табл. 1) [6].

Из трех групп рассматриваемых материалов (ткани верха, утеплители и ткани

подкладочные) были сформированы различные пакеты материалов разнообразного состава (однослойные, двухслойный и многослойные), для них были выбраны такие определяющие показатели, как стойкость к конвективному теплу и тепловому излучению, стойкость к воздействию электрической дуги. В зависимости от значения падающей энергии, выделяемой электрической дугой, термостойкую спецодежду подразделяют по значению электродугового термического воздействия (ЗЭТВ) на различные уровни защиты (8 уровней защиты от 5 кал/см² до 100 ± 5 кал/см²).

№ ткани	Название	Состав	Производитель
Ткань №1	Ткань верха "БиОТерм®"	90% хлопок, 10% ПА, в т.ч. антистатическая нить	Россия
Ткань №2	Ткань верха "Номекс® Комфорт"	98% арамид, 2% антистатическое волокно	Германия
Ткань №3	Ткань верха "ПРОтерм®"	98% арамид, 2% антистатическое волокно	Россия
Ткань №4	Утеплитель "Арквинтер"	98% арамид, 2% антистатическое волокно	Россия
Ткань №5	Утеплитель "Shelter FR ArcPro"	98% арамид, 2% антистатическое волокно	Россия
Ткань №6	Ткань подкладочная, арт. 101736	100% хлопок, в т.ч. антистатическая нить	Россия
Ткань №7	Ткань подкладочная "Унилайн"	100% хлопок, в т.ч. антистатическая нить	Россия

Испытания на стойкость к воздействию электрической дуги проходят с использованием установки, моделирующей воздействие электрической дуги. При проведении испытаний необходимо использовать три образца пакета материалов для точности определения значения электродугового

термического воздействия [7].

На рис. 1 (воздействие электрической дуги на ткань верха "Номекс® Комфорт": а) до испытаний; б) после испытаний) приведено изображение ткани верха "Номекс® Комфорт", подвергнутой воздействию электрической дуги.

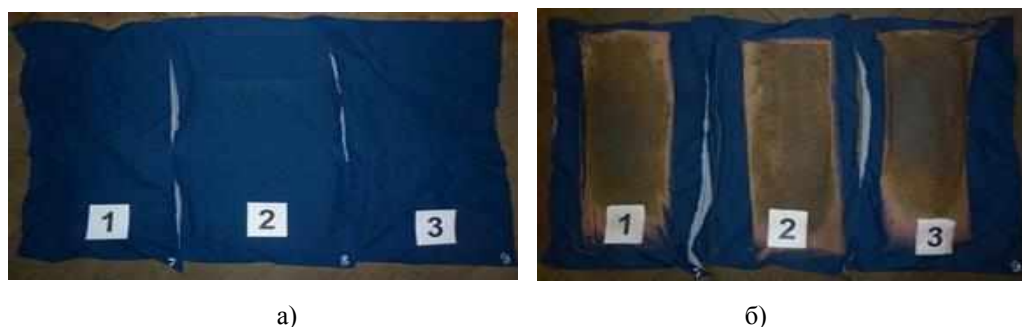


Рис. 1

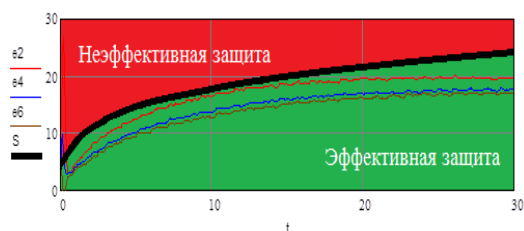


Рис. 2

Во время воздействия электрической дуги специальные калориметрические датчики измеряли температуру на поверхности манекена под тканью верха для изготовления спецодежды. На рис. 2 (кривая температуры датчиков в зависимости от времени, где: 02, 04 и 06 – полученные данные датчиков температуры; S – зависимость Столла (в градусах Цельсия)) приведено изображение сравнения полученных данных дат-

чиков и значение эталонной кривой Столл, обозначающей физиологический предел кожи человека, после которого возникает ожог II степени.

Полученные показания датчиков расположились ниже кривой Столл, следовательно, защитная одежда, изготовленная из ткани верха "Номекс® Комфорт", способна ослабить тепловое воздействие электрической дуги на кожу человека до уровня, который не может вызвать тяжелые ожоговые травмы.

Сравнительные значения ЗЭТВ рассматриваемых материалов и различных комбинаций пакетов материалов, подвергнутых лабораторному износу (5 и 50 циклов стирки), представлены в табл. 2.

№ п/п	Состав сформированного пакета материалов	Уровень защиты ЗЭТВ, кал/см ²	
		после 5 сти- рок	после 50 стирок
1	Однослойный пакет из ткани верха "БиОТерм®"	15,0	15,8
2	Однослойный пакет из ткани верха "Номекс® Комфорт"	13,9	13,6
3	Однослойный пакет из ткани верха "ПРОтерм®"	19,4	18,6
4	Двухслойный пакет из двух слоев ткани верха "БиОТерм®"	42,6	44,9
5	Двухслойный пакет из двух слоев ткани верха "Номекс® Комфорт"	34,1	36,0
6	Двухслойный пакет из двух слоев ткани верха "ПРОтерм®"	32,9	34,3
7	Двухслойный пакет, состоящий из ткани верха "БиОТерм®" и ткани подкладочной, арт. 101736	34,1	36,9
8	Двухслойный пакет, состоящий из ткани верха "Номекс® Комфорт" и ткани подкладочной, арт. 101736	24,1	27,5
9	Двухслойный пакет, состоящий из ткани верха "ПРОтерм®" и ткани подкладочной, арт. 101736	27,3	26,0
10	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "БиОТерм®", утеплителя "Shelter FR ArcPro" и ткани подкладочной, арт. 101736	51,3	56,2
11	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "Номекс® Комфорт", утеплителя "Shelter FR ArcPro" и ткани подкладочной, арт. 101736	57,6	57,0
12	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "ПРОтерм®", утеплителя "Shelter FR ArcPro" и ткани подкладочной, арт. 101736	51,6	56,4
13	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "БиОТерм®", утеплителя "Арквинтер" и ткани подкладочной "Унилайн"	57,5	57,2
14	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "Номекс® Комфорт", утеплителя "Арквинтер" и ткани подкладочной "Унилайн"	56,5	54,3
15	Многослойный пакет, состоящий из ткани верха "ПРОтерм®", утеплителя "Арквинтер" и ткани подкладочной "Унилайн"	56,6	60,4

Как видно из приведенных данных, изменение уровня защиты после лабораторного износа в пределах допустимых значений.

С увеличением количества материалов, входящих в пакет для изготовления специальной одежды для защиты термических рисков электрической дуги, увеличивается уровень защиты ЗЭТВ, что позволяет подбирать комплект для эксплуатации электрооборудования и электроустановок с различными параметрами (например, сила тока короткого замыкания, напряжение, время воздействия дуги, расстояние до источника дуги, расстояние между токоведущими частями).

В результате определения стойкости к конвективному теплу и тепловому излучению пакетов материалов было выявлено, что все пакеты материалов соответствуют требованиям в части их эксплуатационного уровня (не ниже В1 и С1) и сохраняют их после лабораторного износа.

При разработке пакета одежды для защиты от термических рисков электрической

дуги, помимо параметров электроустановки, необходимо также учитывать климатический пояс эксплуатации, а также экономическую целесообразность использования материалов. Так, например, если сравнивать стоимость изготовления костюма из двухслойного пакета из двух слоев ткани верха "Номекс® Комфорт" (с уровнем защиты 34,1 кал/см²) и костюма из двухслойного пакета, состоящего из ткани верха "Номекс® Комфорт" и ткани подкладочной, арт. 101736 (с уровнем защиты 24,1 кал/см²), целесообразно использовать первый вариант.

ВЫВОДЫ

1. Все исследуемые материалы (ткани верха, утеплители и ткани подкладочные) не теряют устойчивость к открытому пламени и сохраняют термостойкие свойства при температуре 180 и 260°C, после всех циклов лабораторного износа материалы не горят, не тлеют и не расплавляются, остаточное горение и тление отсутствуют.

2. Стойкость к воздействию электрической дуги после лабораторного износа сохраняется, изменения происходят в пределах допустимых значений.

3. В результате определения стойкости к конвективному теплу и тепловому излучению пакетов материалов было выявлено, что все пакеты материалов соответствуют требованиям в части их эксплуатационного уровня (не ниже В1 и С1) и сохраняют его после лабораторного износа.

4. При разработке пакета одежды для защиты от термических рисков электрической дуги помимо параметров электроустойчивости, необходимо также учитывать климатический пояс эксплуатации, а также экономическую целесообразность использования материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаринов И.И., Хакимуллин Ю.Н., Шаехов М.Ф., Галимзянова Р.Ю., Перова Н.М.* Санитарно-химические и токсикологические исследования образцов материалов для изготовления одежды и белья после воздействия ионизирующего излучения // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2020, №1. С.125...129.

2. *Пенкрат Д.И., Ольшанский В.И., Давыденкова В.И.* Исследование изменения коэффициента ослабления инфракрасного излучения материала верха теплозащитного костюма // *Изв.вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2019, №4. С.30...34.

3. *Денисенко Т.А., Глушченко А.А.* Воспламеняемость текстильных материалов от искр и кострового угля. // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2018, № 3. С.34...37.

4. *Давыдов А.Ф., Кудринский С.В.* Определение коэффициента теплопередачи конвективного тепла огнестойких тканей // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2018, №3. С.38...40.

5. *Пушкина Ж.С., Шустов Ю.С.* Одежда для защиты от электрической дуги. Условия и требования // *Сб. научн. тр. посвященный 75-летию кафедры Материаловедения и товарной экспертизы* – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. С.67...71.

6. *Пушкина Ж.С.* Специальная одежда для защиты от термического воздействия электрической дуги / *Сб. мат. Междунар. научн. студенческой конф.: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности.* – Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2019. С. 64...67.

7. *Пушкина Ж.С., Шустов Ю.С.* Сравнение текстильных материалов, используемых для защиты от

термических рисков электрической дуги / *Сб. мат. Всерос. научн. конф. молодых исследователей с международным участием: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности, посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина"* Часть 3. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С. 138...140.

REFERENCES

1. *Garinov I.I., Khakimullin Yu.N., Shaekhov M.F., Galimzyanova R.Yu., Perova N.M.* Sanitary-chemical and toxicological studies of samples of materials for the manufacture of clothing and underwear after exposure to ionizing radiation // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* - 2020, № 1. P.125...129.

2. *Penkrat D.I., Olshansky V.I., Davydenkova V.I.* Investigation of the change in the coefficient of attenuation of infrared radiation of the material of the top of the heat-protective suit // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* - 2019, №4. P.30...34.

3. *Denisenko T.A., Glushchenko A.A.* Flammability of textile materials from sparks and fire coal. // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, № 3. P. 34 ... 37.

4. *Davydov A.F., Kudrinsky S.V.* Determination of the heat transfer coefficient of convective heat of fire-resistant fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, №3. P.38...40.

5. *Pushkina Zh.S., Shustov Yu.S.* Clothing for protection against electric arcs. Conditions and requirements // *Sat. scientific tr. dedicated to the 75th anniversary of the Department of Materials Science and Commodity Expertise* – М.: RGU im. A.N. Kosygina, 2019. P.67...71.

6. *Pushkina Zh.S.* Special clothing for protection against thermal effects of an electric arc / *Sat. mat. International scientific student conf.: Innovative development of light and textile industry.* - Part 2. – М.: RSU named after A.N. Kosygina, 2019. P. 64...67.

7. *Pushkina Zh.S., Shustov Yu.S.* Comparison of textile materials used to protect against thermal risks of an electric arc / *Sat. mat. Vseros. scientific conf. young researchers with international participation: Innovative development of equipment and technologies in the industry dedicated to the Anniversary Year in the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "RSU named after A.N. Kosygin"* Part 3. – М.: RSU named after A.N. Kosygina, 2020. P. 138...140.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы. Поступила 25.10.21.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
НЕТКАНЫХ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН**

**PREDICTION OF REGULATORY VALUES
QUALITY INDICATORS OF
NON-WOVEN GEOTEXTILE FABRICS**

М.А. ЛЫСОВА, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, Т.О. ГОЙС, Б.Н. ГУСЕВ
M.A. LYSOVA, N.A. GRUZINTSEVA, T.O. GOIS, B.N. GUSEV

(Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: lysova7@yandex.ru; mtsm@ivgpu.com

В работе рассматривается проблема совершенствования нормативного обеспечения при оценке качества нетканых геотекстильных полотен в направлении уточнения нормативных значений основополагающих единичных показателей качества при проектировании и постановки на производство нового ассортимента текстильной продукции. В качестве исходных нормативных значений показателей качества используются данные при выработке предыдущего ассортимента текстильной продукции, где в дальнейшем методами экстраполяции определяются нормативные значения показателей качества при выработке нового ассортимента текстильной продукции без необходимости проведения дополнительных измерительных процедур на испытательном оборудовании.

The article deals with the problem of improving the regulatory support for assessing the quality of non-woven geotextile fabrics in the direction of clarifying the standard values of the main unified quality indicators in the design and production of a new range of textile products. Data from the development of the previous range of textile products are used as the initial standard values of quality indicators, where further standard values of quality indicators are determined by extrapolation methods when developing a new range of textile products without the need for additional measurement procedures on test equipment.

Ключевые слова: геотекстильные полотна, показатели качества, нормативные значения.

Keywords: geotextile fabrics, quality indicators, normative values.

Введение

В современных условиях объективная необходимость повышения уровня качества потребительской продукции обусловлена тем, что, во-первых, качество продукции становится одним из решающих факторов повышения эффективности произ-

водства и интенсивного развития экономики в целом. Во-вторых, качество является одним из важнейших факторов конкурентоспособности продукции в условиях постоянной борьбы за рынки ее сбыта [1...3].

Показатели качества (технические характеристики) производимой предприятием продукции содержатся в технических условиях на данную продукцию, которые, чаще всего, представлены соответствующим стандартом организации. В этом же документе указаны нормативные значения показателей качества, обеспечивающие требуемый уровень качества продукции.

Для реализации производимой продукции предприятие должно постоянно расширять или обновлять ее ассортимент и, следовательно, корректировать установленные ранее нормативные значения показателей качества для поддержания конкурентоспособности продукции.

Научные и методические основы установления конкурентоспособных нормативных значений показателей качества производимой текстильной продукции постоянно совершенствуются [4], [5] и зависят от вида материала, способа его производства, весомости отдельно взятого показателя качества в комплексной оценке [6...8] и других факторов. Одним из дополнительных путей проведения этой работы может быть прогнозирование нормативных значений путем экстраполяции уже имеющихся на предприятии данных, для чего необходимо разработать соответствующую методику.

Методы исследования

При проведении исследований воспользовались базой данных по имеющимся нормативным значениям определяющих показателей качества нетканого геотекстильного материала торговой марки "ЭМИТЕКС", выработанного иглопробивным способом с применением полиэфирных волокон и производимого предприятием ООО "ЭМИЛИ Групп" (г. Москва), а именно по показателям прочности при испытании материала на растяжение [9]. При аналитическом исследовании решаемой проблемы воспользовались методом экстраполяции исходных данных [10].

Результаты и обсуждения

Предприятие производит широкий ассортимент нетканых материалов различной поверхностной плотности, по которым в технических условиях на определенный вид материала установлены нормативные значения по определяющим единичным показателям качества. Для класса геотекстильных полотен, вырабатываемых на предприятии из химических (полиэфирных) волокон, также установлены соответствующие нормативные значения по показателям качества, которые для характеристик прочности при деформации на растяжение приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатель качества	Поверхностная плотность, кг/м ²					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Прочность при растяжении в продольном направлении, кН/м ²	1,5	3,0	4,8	7,0	9,8	13,1
Прочность при растяжении в поперечном направлении, кН/м ²	2,1	4,2	7,5	11,0	14,3	18,0

П р и м е ч а н и е. Для данного показателя качества приведены минимально допустимые нормативные значения.

Для установления промежуточных значений по показателям прочности в интервалах уже известных нормативных значений поверхностной плотности, а также за их пределами по минимальному и максимальному значениям, воспользуемся методом экстраполяции исходных данных [10], а именно между поверхностной плотностью (x) и прочностью при растяжении нетканого геотекстильного материала в продоль-

ном (поперечном) направлении (y). Первоначально рассмотрим случай прогнозирования нормативных значений, которые не входят в диапазон имеющихся значений.

Пусть в точках x_0, x_1, \dots, x_n таких, что $a \leq x_0 < \dots < x_n \leq b$, известны значения функции $y=f(x)$. Удобным методом экстраполирования является полином Ньютона [10]:

$$P_n(x) = y_0 + \frac{\Delta y_0}{h}(x - x_0) + \frac{\Delta^2 y_0}{2! \cdot h^2}(x - x_0)(x - x_1) + \frac{\Delta^3 y_0}{3! \cdot h^3}(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) + \frac{\Delta^4 y_0}{4! \cdot h^4}(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3) + \dots + \frac{\Delta^n y_0}{n! \cdot h^n}(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}), \quad (1)$$

где $h = x_{i+1} - x_i$ – выбранный шаг; $\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i$ – конечная разность k -го порядка.

Предположим, что прочность при деформации растяжения в продольном направлении (y) исследуемого материала функционально зависит от его поверхностной плотности (x), и эта зависимость задана

рядом числовых значений (табл. 1). Определим значение прочности при деформации растяжения в продольном направлении при условии, если поверхностная плотность равна $x = 0,05 \text{ кг/м}^2$ (меньше нижнего предела). Для этого рассчитаем конечные разности по формуле $\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_i - \Delta^{k-1} y_{i-1}$ и поместим их в табл. 2.

Таблица 2

i	x_i	y_i	Δy_i	$\Delta^2 y_i$	$\Delta^3 y_i$	$\Delta^4 y_i$	$\Delta^5 y_i$
0	0,1	1,5	1,5	0,3	0,1	0,1	-0,4
1	0,2	3,0	1,8	0,4	0,2	-0,3	
2	0,3	4,8	2,2	0,6	-0,1		
3	0,4	7,0	2,8	0,5			
4	0,5	9,8	3,3				
5	0,6	13,1					

Построим полином Ньютона четвертой степени, т. е. в формуле (1) полагаем, что $n = 4$. Все вычисления производим в про-

граммном пакете MathCad (рис. 1), где в итоге получаем полином в виде:

$$P_4(x) = 41,67x^4 - 25,00x^3 + 19,58x^2 + 10,25x + 0,30.$$

Тогда при заданной поверхностной плотности $x = 0,05 \text{ кг/м}^2$ прочность y при де-

формации растяжения в продольном направлении равна $y = 0,9 \text{ кН/м}^2$.

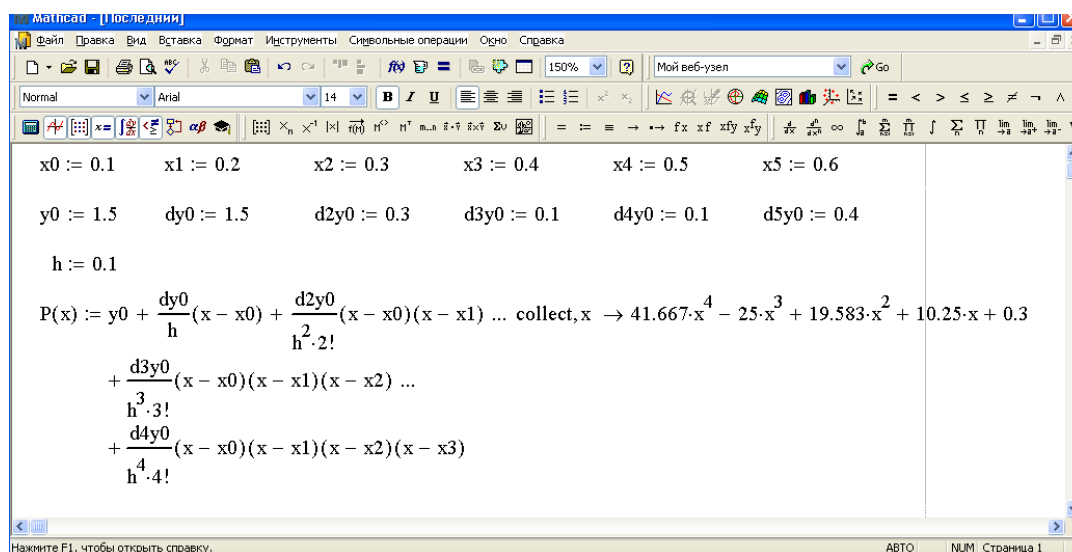


Рис. 1

Для оценки погрешности полученного результата в данной точке воспользуемся выражением:

$$R_n(x') \leq \frac{\Pi_{n+1}(x') |\Delta^{n+1} y_0|}{h^{n+1} (n+1)!}, \quad (2)$$

$$\Pi_5(x') = (0,1 - 0,05)(0,2 - 0,05)(0,3 - 0,05)(0,4 - 0,05)(0,5 - 0,05) = 0,00029531;$$

$$R_4(x') \leq \frac{0,00029531 \cdot 0,4}{0,1^5 \cdot 5!} = 0,098 \leq 0,1, \text{ т.е.}$$

метод экстраполяции исходных данных для выбранного диапазона позволяет устанавливать значения прочности при деформации растяжения в продольном направлении с абсолютной погрешностью порядка 0,1 кН/м² (относительной погрешностью порядка 10 %), что является вполне приемлемым результатом при решении задачи прогнозирования неизвестных нормативных значений.

Аналогично определим прочность при деформации растяжения в продольном направлении при условии, если поверхностная плотность $x = 0,65 \text{ кг/м}^2$ (большее верхнего предела), а также в текущих интервалах исследуемого диапазона норма-

где $\Pi_{n+1}(x') = (x_0 - x')(x_1 - x') \cdot \dots \cdot (x_n - x')$.

В результате получаем:

тивных значений поверхностной плотности нетканого геотекстильного материала. При заданной поверхностной плотности $x = 0,65 \text{ кг/м}^2$ прочность y при деформации растяжения в продольном направлении равна $y = 17,8 \text{ кН/м}^2$.

В табл. 3 представлены расчетные (прогнозируемые (П)) и фактические (Ф) нормативные значения показателей прочности, которые указаны в соответствующих технических условиях на рассматриваемый геотекстильный материал. Их анализ показывает, что отдельные фактические нормативные значения могут быть скорректированы в соответствии с расчетными значениями. При этом могут быть учтены особенности строения и свойства самих геотекстильных материалов [11], [12].

Т а б л и ц а 3

Показатель качества	Поверхностная плотность, кг/м ²									
	0,15		0,25		0,35		0,45		0,55	
	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
Прочность при растяжении в продольном направлении, кН/м ²	2,2	1,9	3,8	3,6	5,8	5,5	8,3	10,0	11,5	13,5
Прочность при растяжении в поперечном направлении, кН/м ²	2,9	2,5	5,7	5,9	9,2	9,6	12,7	13,0	15,9	17,0

Примечание. П – прогнозируемое значение; Ф – фактическое значение.

В Ы В О Д Ы

Для повышения конкурентоспособности и реализуемости производимой продукции текстильные предприятия должны постоянно расширять или обновлять ее ассортимент и при этом поддерживать соответствующий уровень качества текстильной

продукции. Основные мероприятия по обеспечению качества продукции прописаны в документах системы менеджмента (технического контроля) качества предприятия, которые должны постоянно пополняться новыми методиками, разрабатываемыми на основе соответствующих научных исследований.

В направлении решаемой проблемы обеспечения нормативных значений показателей качества нетканых геотекстильных материалов при формировании нового ассортимента изделий предложена и исследована методика с применением методов экстраполяции для прогнозирования их значений на основе прежней ассортиментной линейки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тавер Е.И. Качество как объект управления // Методы менеджмента качества. – 2012, №12. С.12...19.
2. Леонович Д.С., Егорова М.С. Особенности оценки качества научно-технической продукции // Молодой ученый. – 2015, № 11.4. С. 149...152.
3. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Особенности оценки качества текстильных материалов // Дизайн и технологии. – 2017, № 60. С. 61...69.
4. Цыбышева А.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Организация нормирования показателей связности нитей при производстве строительных геосинтетических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №3. С. 300...302.
5. Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Кусенкова А.А., Гусев Б.Н. Установление нормативного значения для показателей прочности геосинтетических полотен на основе оценки параметров распределения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С. 54...57.
6. Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Малайко Е.Н. Комплексная оценка механических свойств мебельных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 6. С. 12...15.
7. Чагина Л.Л., Рыжов Е.С. Формирование номенклатуры свойств материалов, определяющих качество тентов для водного транспорта // Технологии и качество. – 2018, № 1. С. 8...12.
8. Оморова М.З., Чагина Л.Л., Груздева А.П. Комплексная оценка качества тентовых материалов // Технологии и качество. – 2020, № 2(48). С. 3...7.
9. <https://emiligroup.ru/product-category/geotekstil-2/geotekstil/> (дата обращения: 10.03.2022).
10. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. – М.: Высшая школа, 2005.
11. Stolyarov O., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements // Textile Research Journal. – 2015, №2. P.1934...1945.
12. Логинова И.И., Артамонова Д.А., Столяров О.Н., Мельников Б.Е. Влияние структуры на вязкоупругие свойства геосинтетических материалов // Инженерно-строительный журнал. – 2015, №4. С.11...18.
1. Tawer E.I. Quality as a management object // Methods of quality management. – 2012, №12. P.12...19.
2. Leonovich D.S., Egorova M.S. Features of quality assessment of scientific and technical products // Young scientist. – 2015, № 11.4. P. 149...152.
3. Kiryukhin S. M., Plekhanova S. V. Features of quality assessment of textile materials // Design and technologies. – 2017, № 60. P. 61...69.
4. Tsybysheva A.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. Organization of normalization of thread connectivity indicators in the production of construction geosynthetic materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016, №3. P. 300...302.
5. Lysova M.A., Gruzintseva M.A., Kusenкова A.A., Gusev B.N. Establishment of a normative value for strength indicators of geosynthetic webs based on the evaluation of distribution parameters // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. P. 54...57.
6. Shustov Yu. S., Kurdenkova A.V., Malyavko E.N. Comprehensive assessment of mechanical properties of furniture fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, № 6. P. 12...15.
7. Chagina L. L., Ryzhov E. S. Formation of the nomenclature of the properties of materials that determine the quality of awnings for water transport // Technology and quality. – 2018, № 1. P. 8...12.
8. Omirova M. Z., Chagina L. L., Gruzdeva A. P. Comprehensive assessment of the quality of tent materials // Technologies and quality. – 2020, № 2(48). P.3...7.
9. <https://emiligroup.ru/product-category/geotekstil-2/geotekstil/> (date of address: 10.03.2022)).
10. Verzhbitsky V.M. Fundamentals of numerical methods: textbook for universities. – M.: Higher School, 2005.
11. Stolyarov O. Effects of fabric structures on the tense properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements / O. Stolyarov, T. Quadflieg, T. Gries // Textile Research Journal. – 2015, №2. P.1934...1945.
12. Loginova I.I., Artamonova D.A., Stolyarov O.N., Melnikov B.E. Influence of structure on viscoelastic properties of geosynthetic materials // Engineering and Construction Journal. – 2015, №4. P.11...18.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения, метрологии и стандартизации ИВГПУ. Поступила 15.04.22.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА ТОНКОВОЛОКНИСТЫХ СОРТОВ ХЛОПЧАТНИКА

FORECASTING OF COTTON FIBER BREAKING LOAD OF COTTON GRADES

О.В. КАЩЕЕВ, Ю.С. ШУСТОВ

O.V. KASHCHEEV, YU.S. SHUSTOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: 6145263@mail.ru

В статье рассмотрено влияние таких показателей, как линейная плотность исходного волокна, штапельная длина, влажность и содержание пороков и сорных примесей в волокнах, на качество тонковолокнистого хлопкового волокна. В качестве объектов исследования были взяты три селекционных сорта тонковолокнистого хлопчатника ручного вида сбора. Для установления влияния рассматриваемых факторов применялась теория подобия и анализа размерностей. Получены безразмерные показатели, характеризующие геометрические свойства волокон, и безразмерный показатель, характеризующий влияние внешних воздействий. С использованием этих показателей получены зависимости разрывной нагрузки от рассматриваемых показателей, что позволяет моделировать разрывную нагрузку тонковолокнистых сортов хлопчатника.

The article discusses the effect of parameters such as linear density of the source fiber, staple length, humidity and content of defects and weeds in the fibers on the quality of fine cotton fiber. Three breeding varieties of hand-harvested thin cotton fiber were taken as subjects of the study. To establish the influence of the factors under consideration, the theory of similarity and analysis of dimensions were used. There obtained dimensionless indices characterizing both geometric properties of fibres and dimensionless index, the latter distinguishing the impact of external influences. Using these indicators, the fracture load dependencies are obtained from the considered indicators, allowing to model the fracture load of thin-fiber cotton grades.

Ключевые слова: тонковолокнистое хлопковое волокно, теория подобия и анализа размерностей, математическая модель.

Keywords: cotton fiber, similarity theory and dimension analysis, mathematical model.

Проблема повышения качества текстильных изделий достаточно сложна, так как ее решение зависит от многих факторов. Однако при большом числе переменных привести результаты решения в определенную систему, найти скрытые в них

связи и объединить эти связи в общих количественных закономерностях крайне трудно. При решении таких задач приходится вводить множество разнородных величин, каждая из которых рассматривается как самостоятельная переменная. В дей-

ствительности влияние отдельных факторов, представленных различными величинами, как правило, проявляется не порознь, а совместно. Поэтому при решении той или иной задачи надо рассматривать не отдельные величины, а их совокупности, определенные для каждого конкретного процесса [1].

Анализ литературных источников [2...13] показывает, что на разрывную нагрузку исходных волокон оказывает влияние ряд факторов, наиболее важными из которых являются:

$$P_{\text{вол}} = f(T_{\text{вол}}, L_{\text{шт}}, W, n), \quad (1)$$

где $P_{\text{вол}}$ – разрывная нагрузка волокна, сН;
 $T_{\text{вол}}$ – линейная плотность, мтекс; $L_{\text{шт}}$ –

штапельная длина, мм; W – влажность, %;
 n – содержание пороков и сорных примесей, %.

В тех случаях, когда известен только набор физических параметров, характеризующих процесс, но неизвестно их влияние, связывающие их между собой, целесообразно применять теорию размерности. Для выбора определяющих физических параметров можно использовать экспериментальные методы.

В качестве объектов исследования были взяты три вида тонковолокнистых селекционных сортов хлопчатника ручной сборки [9] (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Тип хлопкового волокна	Селекционный сорт	Вид сбора	Промышленный сорт	Разрывная нагрузка P, сН	Штапельная длина L, мм	Линейная плотность T, мтекс	Влажность W, %	Содержание пороков и сорных примесей
1	Ашхабад	ручной	I	4,4	39,3	126	4,1	3,2
			II	4,1	39,7	123	4,6	3,7
			III	3,5	38,7	112	4,1	4,8
			IV	3,1	39,2	103	4,4	5,8
1	9732-И	ручной	I	4,4	40,0	128	4,5	2,2
			II	4,0	40,0	122	4,9	2,7
			III	3,6	39,8	113	5,0	3,2
			IV	3,1	39,2	113	5,9	3,7
2	6249-В	ручной	I	4,4	39,3	141	5,0	2,4
			II	4,1	39,0	133	5,2	3,0
			III	3,5	38,2	119	5,5	3,8
			IV	3,1	37,6	111	6,0	4,4

В связи с тем, что приведенные показатели имеют различные размерности, необходимо перейти от обычных физических величин к величинам комплексного типа. Это создает ряд важных преимуществ. В первую очередь приводит к уменьшению числа переменных. Замещение обычных переменных обобщенными является основной чертой рассматриваемой системы исследования. Систему эту принято называть теорией подобия и анализа размерностей.

Используя методы теории подобия и анализа размерностей [8], представим выражение (1) в виде комплекса безразмерных показателей:

$$P = \eta \left(TL, \frac{W}{n} \right), \quad (2)$$

где η – безразмерный показатель, характеризующий изменение разрывной нагрузки волокна.

Так как на разрывную нагрузку одновременно оказывают влияние несколько факторов, формула (2) может быть представлена в виде двух безразмерных показателей:

$$\eta = \eta_1 \eta_2, \quad (3)$$

где η_1 – безразмерный показатель, характеризующий влияние геометрических свойств волокон; η_2 – безразмерный показатель, характеризующий влияние внешних воздействий.

Результаты расчета разрывной нагрузки волокон приведены в табл. 2.

Селекционный сорт	Промышленный сорт	$P_{\text{факт}} -$ разрывная нагрузка, сН	$\frac{TL}{1000}$	$\frac{W}{n}$	η_1	η_2	$P_{\text{рас}} = \eta_1 \eta_2$	Отклонение, %
Ашхабад	I	4,4	4,95	1,28	3,46	1,165	4,03	8,4
	II	4,1	4,88	1,24	3,41	1,165	3,97	3,1
	III	3,5	4,33	0,85	3,03	1,169	3,54	1,1
	IV	3,1	4,04	0,75	2,83	1,171	3,31	6,7
9732-И	I	4,4	5,12	2,05	3,58	1,162	4,15	5,6
	II	4,0	4,88	1,81	3,42	1,163	3,97	0,7
	III	3,6	4,50	1,56	3,15	1,164	3,66	1,6
	IV	3,1	4,33	1,59	3,10	1,142	3,54	14,1
6249-В	I	4,4	5,54	2,08	3,87	1,164	3,50	2,5
	II	4,1	5,19	1,73	3,63	1,163	4,22	2,9
	III	3,5	4,55	1,45	3,15	1,164	3,66	4,5
	IV	3,1	4,17	1,36	3,10	1,165	3,61	6,4

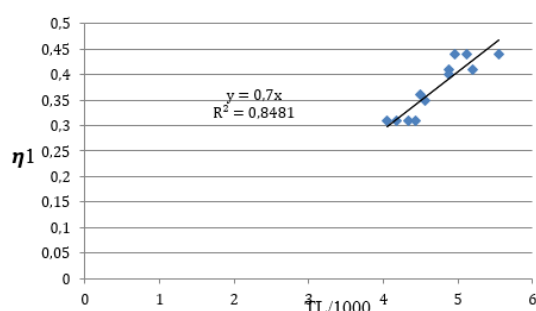


Рис. 1

Зависимость для комплекса η_1 определяется уравнением и представлена на рис. 1:

$$\eta_1 = 0,7 (TL) . \quad (4)$$

Зависимость для комплекса η_2 определяется уравнением (2) и рис. 2:

$$\eta_2 = \frac{\frac{W}{n}}{0,8638 \frac{W}{n} - 0,0067} . \quad (5)$$

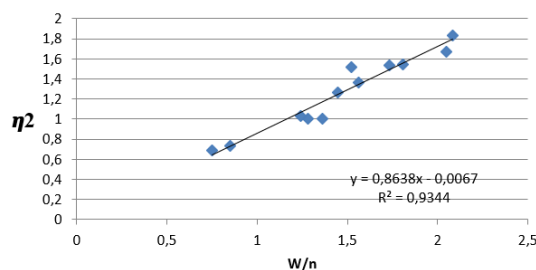


Рис. 2

Таким образом, окончательная формула для расчета разрывной нагрузки тканей для спецодежды принимает вид:

$$P_{\text{рас}} = 0,7 (TL) \frac{\frac{W}{n}}{0,8638 \frac{W}{n} - 0,0067} . \quad (6)$$

Формула справедлива при $4 \leq TL \leq 6$, $0,5 \leq \frac{W}{n} \leq 2,2$.

Отклонение расчетных значений от экспериментальных данных не превышает 14%.

ВЫВОДЫ

1. Использование теории подобия и анализа размерностей позволяет проанализировать влияние основных факторов, таких как линейная плотность, штапельная длина волокна, содержания пороков и сорных примесей и влажность на прочность волокна.

2. Получена математическая модель, позволяющая прогнозировать разрывную нагрузку тонковолокнистого хлопкового волокна ручной сборки для различных селекционных сортов, исходя из его основных показателей.

3. Отклонение расчетного значения разрывной нагрузки хлопкового волокна от фактических значений не превышает 14%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шустов Ю.С. Методы подобия и размерности в текстильной промышленности. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2002.
2. Соловьев А.Н. Проектирование свойств пряжи в хлопчатобумажном производстве: Дис....докт. техн. Наук. – М.: МТИ, 1951.

3. *Корицкий К.И.* Основы проектирования свойств пряжи. – М.: Гизлегпром, 1963.

4. *Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А.* Моделирование технологических процессов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

5. *Шаломин О.А., Матрохин А.Ю., Шубин А.С.* Проектирование номинальных значений показателей качества текстильных изделий с использованием нейросетевого анализа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №3. С.18...25.

6. *Шустов Ю.С.* Определение разрывной нагрузки хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 1. С. 13...15.

7. *Шустов Ю.С.* Определение разрывной нагрузки хлопчатобумажной пряжи пневмомеханического способа прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 3. С.13...14.

8. *Шустов Ю.С.* Современные методы прогнозирования свойств текстильных материалов. – М.: РГУ имени А.Н.Косыгина, 2018.

9. ГОСТ Р 53224–2008. Волокно хлопковое. Технические условия.

10. *Abzalova D., Myrzaliev D., Sarzhanova M., Aktayeva U., Pazylkhan N.* New aspects of the use and application of anti-corrosion protective coatings based on epoxynovolac block copolymers of xylitane // Industrial Technology and Engineering. – №1 (22), 2017. P.84...92.

11. *Barbara Simoncic and BrigitaTomsic.* Structures of novel Antimicrobia; Agents for Textiles // Textile Research Journal. – 2010. Vol. 80 (16). P.1721...1737.

12. *Moon W. Suh, Jae L. Woo and Hyun-Jin Koo.* Spinning Quality // Process Improvement Through Variance Tolerancing, Proceedings of the 1997 Belt wide Cotton Conferences. – 1997. P. 691...696.

13. *Lawrence Hunte.* Prediction of Cotton Processing Performance and Yarn Properties from HVI Test Results // Melliand Textil Berichte. – №4, 1988. E123.

REFERENCES

1. Shustov Yu.S. Methods of similarity and dimension in the textile industry. – М.: MSTU named after A.N. Kosygin, 2002.

2. Soloviev A.N. Design of yarn properties in cotton production: Diss....doc. tech. Sciences. – М.: МТИ, 1951.

3. Koritsky K.I. Fundamentals of designing yarn properties. – М.: Gizlegprom, 1963.

4. Sevostyanov A.G., Sevostyanov P.A. Modeling of technological processes. – М.: Light and food industry, 1984.

5. Shalomin O.A., Matrokhin A.Yu., Shubin A.S. Designing nominal values of quality indicators of textile products using neural network analysis // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 3. P.18...25.

6. Shustov Yu.S. Determination of the breaking load of cotton yarn of the ring spinning method // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2002, № 1. P. 13 ... 15.

7. Shustov Yu.S. Determination of the breaking load of cotton yarn of the pneumomechanical spinning method // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2002, № 3. P.13 ... 14.

8. Shustov Yu.S. Modern methods for predicting the properties of textile materials. – М.: A.N. Kosygin Russian State University, 2018.

9. GOST R 53224–2008. Cotton fiber. Specifications.

10. Abzalova D., Myrzaliev D., Sarzhanova M., Aktayeva U., Pazylkhan N. New aspects of the use and application of anti-corrosion protective coatings based on epoxynovolac block copolymers of xylitane // Industrial Technology and Engineering. – №1 (22), 2017. P.84...92.

11. Barbara Simoncic and BrigitaTomsic. Structures of novel Antimicrobia; Agents for Textiles // Textile Research Journal. – 2010. Vol. 80(16). P.1721...1737.

12. Moon W. Suh, Jae L. Woo and Hyun-Jin Koo. Spinning Quality // Process Improvement Through Variance Tolerancing, Proceedings of the 1997 Belt wide Cotton Conferences. – 1997. P. 691...696.

13. Lawrence Hunte. Prediction of Cotton Processing Performance and Yarn Properties from HVI Test Results // Melliand Textil Berichte. – №4, 1988. E123.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы. Поступила 19.04.22.

ВЛАГОПЕРЕНОС В ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НИТЕЙ

MOISTURE TRANSFER IN TEXTILE MATERIALS FROM FUNCTIONAL THREADS

Н.Н. ЯСИНСКАЯ, Н.В. СКОБОВА

N.N. YASINSKAYA, N.V. SKOBOVA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru, skobova-nv@mail.ru

Одним из способов получения многофункциональных материалов является последовательное наложение текстильных структур с заданными свойствами и их соединение в единое целое. Особый интерес представляет использование для формирования текстильных слоев полиэфирных нитей нового поколения с функцией управления влагой Quick Dry и микрофиламентных нитей SOFT. Проведены исследования влагопереноса в трикотажном материале из новых нитей для разработки рекомендаций к проектированию многофункциональной структуры, функционирование которой позволяет регулировать процессы переноса влаги, ее поглощение, перераспределение и аккумуляция. Для индивидуальных трикотажных материалов из функциональных и традиционных полиэфирных нитей изучены скорость впитывания влаги, диффузионные свойства, а также способность отдавать влагу. Установлено, что лучшей способностью аккумуляции и отдавать влагу последующему сухому текстильному слою обладают трикотажные полотна из нитей Quick Dry, при этом влага не распространяется по всей поверхности материала. Скорость испарения влаги в естественных условиях выше у полотен из традиционных полиэфирных нитей PES и микрофиламентных нитей SOFT. Полученные результаты исследования транспортных свойств индивидуальных трикотажных полотен из новых нитей Sohim Smart Yarns могут быть использованы при проектировании многофункциональных слоистых материалов с заданными свойствами в зависимости от выполняемой ими функции.

One of the ways to obtain multifunctional materials is the successive layering of textile structures with desired properties and their combination into a single whole. Of particular interest is the use of new generation polyester yarns with the Quick Dry moisture management function and SOFT microfilament yarns for the formation of textile layers. Studies of moisture transfer in knitted material from new threads were carried out to develop recommendations for the design of a multifunctional structure, the functioning of which allows you to control the processes of moisture transfer, its absorption, redistribution and accumulation. For individual knitted materials from functional and traditional polyester yarns, the moisture absorption rate, diffusion properties, and the ability to release moisture were studied. It has been established that knitted fabrics made from Quick Dry threads have the best ability to accumulate and release moisture to the subsequent dry textile layer,

while moisture does not spread over the entire surface of the material. The evaporation rate of moisture in natural conditions is higher for fabrics made from traditional PEC polyester yarns and SOFT microfilament yarns. The obtained results of the study of the transport properties of individual knitted fabrics from the new Sohim Smart Yarns will allow us to give some recommendations when designing multifunctional layered materials with desired properties, depending on the function they perform.

Ключевые слова: многофункциональные материалы, функциональные полиэфирные нити, трикотажные полотна, влагоперенос, скорость впитывания, диффузионные свойства, влагоотдача.

Keywords: multifunctional materials, functional polyester yarns, knitted fabrics, moisture transfer, absorption rate, diffusion properties, moisture loss.

Введение

В последние годы ученые-текстильщики активно проводят исследования в области создания многофункционального текстиля ("multifunctional textiles") с заданными свойствами, определенного назначения [1...4]. Среди них защитный, медицинский, эко- агро-, гео-, строительный, для спорта и отдыха, для транспорта и другие виды. Распространенной и экономически выгодной технологией получения таких материалов является получение многослойных материалов путем последовательного наложения текстильных структур с различными свойствами и их соединения в единое целое подходящим способом. Это дает возможность варьировать свойства создаваемых полотен в очень широких пределах, регулировать их поверхностные и объемные, гигиенические и теплофизические свойства, регулировать анизотропию механических свойств и т.д. Известны самые различные способы формирования многослойных структур с заданным расположением слоев [5], [6]. Физико-механические свойства многослойных материалов зависят от свойств составляющих его индивидуальных полотен [7], [8].

В связи с этим особый интерес представляет использование для формирования текстильных слоев нитей нового поколения производства ОАО "СветлогорскХимволокно", которые выпускаются под торговым знаком Sohim Smart Yarns [9]. К таким нитям относятся полиэфирные нити с функцией управления влагой (быстроотводящие

влаго) Quick Dry и микрофиламентные нити SOFT. Уникальная многоканальная структура нитей) Quick Dry обеспечивает текстильным материалам способность эффективно управлять влагой за счет мощного капиллярного эффекта, который позволяет быстро впитывать влагу, аккумулировать ее в структуре материала. Микрофиламентные нити SOFT имеют толщину элементарного волокна примерно 5 мкм, благодаря чему способность нитей транспортировать влагу увеличивается по сравнению с традиционными комплексными полиэфирными нитями PEC.

Целью работы является исследование влагопереноса в текстильном материале из функциональных нитей для разработки рекомендаций к проектированию структуры многофункционального материала, функционирование которого позволяет регулировать процессы переноса влаги (воды, жидкостей), ее поглощение, перераспределение и аккумулирование.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований использованы трикотажные полотна, характеристики которых представлены в табл. 1.

Отличительной особенностью используемых функциональных нитей по сравнению с традиционными полиэфирными является наличие развитой системы пор и капилляров, размеры которых колеблются в диапазоне 10^{-6} ... 10^{-9} м.

В результате предварительных исследований установлено, что стандартные методики определения капиллярности, влагоем-

кости, влагопоглощения, используемые для текстильных материалов, в случае полотен из функциональных нитей не позволяют оценить транспортные свойства трикотажных полотен (капиллярное впитывание жидкости, диффузия внутри структуры

трикотажного полотна, влагоперенос и испарение жидкости с поверхности материала) [10]. Поэтому для исследования использован подход к оценке влагопереноса по стандарту FTTS-FA-004.

Таблица 1

Сырьевой состав, переплетение	число пет. столбиков на 10 см	число пет. рядов на 10 см	петельный шаг А, мм	высота петельного ряда В мм	толщина полотна, мм	длина нити в петле, мм	поверхностная плотность, г/м ²	поверхностное заполнение, %	объемное заполнение, %	коэффициент линейного заполнения
Quick Dry интерлок	104	164	0,962	0,61	0,4	3,26	210	214	161,6	24,6
Soft интерлок	106	164	0,943	0,61	0,308	3,2	194	207	196,6	25,3
РЕС интерлок	104	202	0,962	0,495	0,471	2,73	220	152	64,6	30,6

Скорость впитывания материалом влаги исследовалась по методу каплепадения [11]. Предварительно подготовленные образцы размером 200×200 мм закрепляли на рамке, размещенной на ровной поверхности. На высоте 10 мм от поверхности полотна устанавливали дозатор, из которого падала капля объемом 0,05 мл. Определяли время от момента начала падения капли на поверхность образца до уменьшения зеркала капли и появления тусклого влажного пятна с точностью до 0,5 с.

Методика изучения диффузионных свойств текстильных материалов заключалась в следующем. Образец помещается на плоской стеклянной поверхности лицевой стороной вверх, без натяжения. С помощью дозатора капаем каплю воды объемом 0,2 мл с высоты 1 см над поверхностью образца. Закрепленная на держателе видекамера снимает изображение капли в течение 90 секунд. Полученные данные обрабатываются системой анализа изображений, рассчитывается площадь диффузии (мм²) на 5-й, 10-й, 20-й, 30-й, 60-й и 90-й секундах. Оценку диффузии необходимо проводить в разных местах полотна с числом повторов не менее 5.

Способность трикотажных материалов из функциональных нитей отдавать влагу исследовалась по следующей методике. На стеклянную пластину капают каплю воды объемом 0,2 мл. Образцы полотна размером 100×100 мм изнаночной стороной помещали на каплю воды на 60 с. Затем смоченный образец трикотажа помещают на фильтровальную бумагу (M₀, г) и размещают груз весом 0,5 г/см² на 30 с таким образом, чтобы образовалась комбинация груз-образец-фильтровальная бумага. После разгрузки фиксируют вес увлажненной фильтровальной бумаги M_в. Коэффициент влагоотдачи определяют по формуле:

$$W_{\text{погл}} = \frac{M_{\text{в}} - M_0}{0,2} \cdot 100 (\%) . \quad (1)$$

Методика испытаний скорости испарения влаги с поверхности трикотажных полотен заключается в следующем. Образцы размером 50×50 мм помещаются изнаночной стороной на чашу весов (точность весов 0,001 г), и фиксируется сухой вес материала m_{сух}. С помощью дозатора капают каплю воды объемом 0,2 мл с высоты 1 см

над центром испытательного квадрата и фиксируют вес влажного образца $m_{вл}$. Далее снимают показания изменяющегося веса образца m_i в течение 100 мин с интервалом в 1 мин.

По результатам замеров проводят расчет содержания остаточной влаги $K_{ост}$ по формуле:

$$W_{ост} = \frac{m_i - m_{сух}}{m_{вл} - m_{сух}} \cdot 100. \quad (2)$$

Исследования проводили при температуре 20°C при отсутствии движения воздуха.

Результаты и обсуждения

Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах, к которым относятся текстильные материалы, определяется формой ее связи, особенностями структуры материала. Как известно, объемное поглощение влаги происходит из-за наличия в материале пор и капилляров, чьи размеры, количество и характер не связаны с температурой в той мере, в которой можно пренебречь зависимостью размеров пор от теплового расширения. Основными законами перемещения влаги в материале являются законы диффузии (молекулярное перемещение), закон капиллярного движения (молярное перемещение) и механическое захватывание влаги. В зависимости от размеров пор в материале могут преобладать те или иные составляющие процесса влагопереноса. В макропористых материалах преобладают процессы диффузии; в микропористых, имеющих поперечные размеры менее 10^{-6} м преобладают процессы сорбции-десорбции и капиллярного поднятия. Для материалов, имеющих сквозные поры, макро- и микропоры, характерно наличие всех трех составляющих процесса влагопереноса.

При соприкосновении материала с водой ($T=const$) происходит капиллярное впитывание, скорость которого зависит от размера пор. Анализ гистограммы (рис. 1 – оценка впитывания по методу каплепадения) показывает, что наиболее стремительно происходит капиллярное впитывание капли на поверхности материала из микрофиламентных нитей SOFT и нитей Quick Dry.

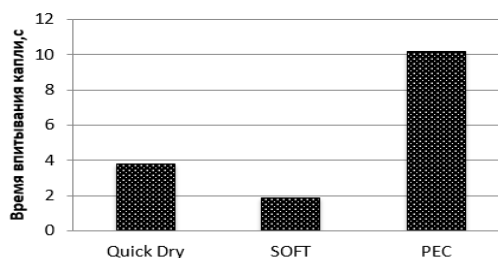


Рис. 1

Такие полотна можно отнести к быстровпитывающим материалам. Для полотен из традиционной полиэфирной нити PEC время впитывания капли в 5 раз больше по сравнению с полотнами из нитей SOFT.

Трикотажные полотна, выработанные из нитей с модифицированным профилем поперечного сечения элементарных нитей Quick Dry, а также из микрофиламентной нити SOFT, проявляют свойства, характерные для гидрофильных материалов – краевой угол смачивания менее 90°; полотна из традиционных полиэфирных нитей PEC имеют гидрофобную поверхность – угол смачивания более 100°.

Диффузия влаги (рис. 2 – площадь диффузии капли воды (0,2 мл) в структуре трикотажного полотна) на полотнах из профилированных нитей Quick Dry происходит медленно, пятно имеет форму круга с малой площадью растекания.

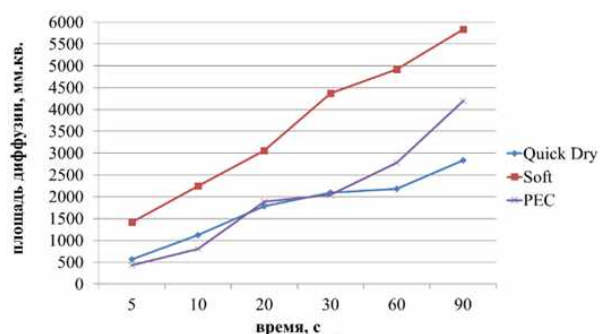


Рис. 2

Благодаря особенностям структуры, рельефной боковой поверхности элементарных нитей Quick Dry происходит механическое удержание всего объема влаги в замкнутых порах. Максимальная площадь диффузии отмечается у полотна из микрофиламентных нитей. Большое число элементарных

нитей образуют микрокапилляры, по которым влага быстро и свободно диффундирует в структуре материала.

Анализ кривых испарения влаги при температуре 20°C без движения воздуха (рис. 3 – влагосодержание образцов в процессе испарения в естественных условиях) показывает, что полотна из традиционных полиэфирных нитей PEC и микрофиламентных SOFT высыхают быстрее, так как открытая площадь поверхности испарения и размер пор больше по сравнению с нитями Quick Dry, влага на гладкой поверхности нитей удерживается только за счет адгезии и быстро удаляется при естественном испарении, не впитываясь.

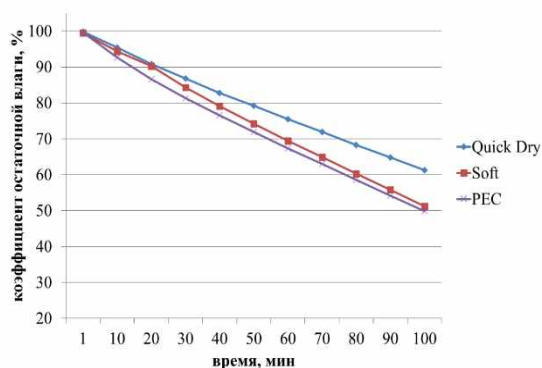


Рис. 3

При фиксированном времени содержание влаги в полотнах из нитей Quick Dry на 10...15% выше.

При проектировании слоистых текстильных структур с заданными свойствами важное значение имеет способность влажных материалов удерживать и отдавать влагу. Например, при проектировании пакета для спортивной или специальной одежды влага, отводящаяся от тела человека, должна полностью аккумулироваться в структуре материала, а затем быстро передаваться следующему сухому слою, с которого легко будет испаряться. Исследования влагопоглощения и влагоотдачи трикотажных полотен из функциональных нитей показали (рис. 4 – коэффициент влагоотдачи трикотажных полотен), что лучшей способностью удерживать влагу и затем отдавать ее при соприкосновении с сухим слоем обладают материалы из нитей Quick Dry.

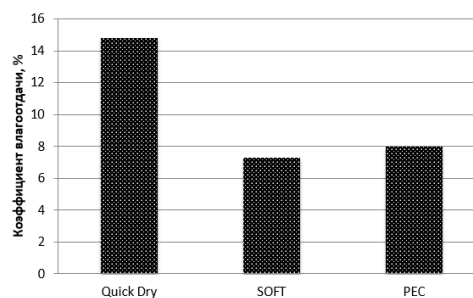


Рис. 4

Важно, что трикотажные полотна из нитей Quick Dry удерживают весь объем подведенной влаги, в то время как полотна из традиционных нитей PEC и микрофиламентных нитей SOFT поглощают фиксированный объем влаги в 2 раза меньше.

ВЫВОДЫ

Установлено, что лучшей способностью аккумулировать и отдавать влагу обладают трикотажные полотна из нитей Quick Dry, при этом влага не распространяется по всей поверхности материала. Скорость испарения влаги в естественных условиях выше у полотен из традиционных полиэфирных нитей PEC и микрофиламентных нитей SOFT. Полученные результаты исследования транспортных свойств индивидуальных трикотажных полотен из новых нитей Sohim Smart Yarns могут быть использованы при проектировании многофункциональных слоистых материалов с заданными свойствами в зависимости от выполняемой ими функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vlasenko V., Bereznenko M., Liszczuk V.* Modern approach to prepare multifunctional sandwich-type textile composites with predicted characteristics // *Innovations in clothing technology & measurement techniques.* – Warsaw, 2012. P. 85...93.
2. *Усманова Э.Д., Усманов И.В.* Способы получения многофункциональных текстильных материалов с различными полимерными покрытиями // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2010, №9. С. 91...92.
3. *Mountasir S., Hoffman G., Cherif Ch.* Development of weaving technology for manufacturing 3-dimensional spacer fabrics // *Textile Research Journal.* – №81, 2011. P. 1354...1366.

4. Hausding I., Cherif Ch. Application of stitch-bonded multiplies // J.Text. Inst. – №103, 2012. P.179...192.

5. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Композиционные текстильные материалы. – Витебск: ВГТУ, 2016.

6. Yasinskaya N.N., Murycheva V.V., Razumeev K.E. Impregnation of Woven Fabrics from Chemical Yarns during Formation of Composite Textile Materials // Fibre Chemistry. – 2020. – V. 52, №1. P. 28...33.

7. Полушин Е.Г., Козлова О.В., Одинцова О.И. Изучение паропроницаемости дублированных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №6. С.120...124.

8. Fortuniak K., Grazyna R., Obersztyn E., Olejnik M., Bartczak A., Król I. Assessment and Verification of the Functionality of New, Multi-Component, Camouflage Materials // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2013. P. 73...79.

9. Костюкевич В.В. Производство спецволокон и нитей с функциональными свойствами в ОАО "СветлогорскХимволокно" // Мат. II Междунар. научн.-техн. и инвестиц. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке: Нефтехимия-2019. – Минск, 16-18 сентября 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. С. 13...19.

10. Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Даниленко А.Е., Сохова А.В. Оценка специальных свойств функциональных нитей и трикотажных полотен из них для формирования многослойных обувных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2021. Т. 53. № 3. С. 68...72.

11. Standart FTTS-FA-004. Specified Requirements of Moisture Transferring and Quick Drying Textiles.

REFERENCES

1. Vlasenko V., Berezenko M., Liszczuk V. Modern approach to prepare multifunctional sandwich-type textile composites with predicted characteristics // Innovations in clothing technology & measurement techniques. – Warsaw, 2012. P. 85...93.

2. Usmanova E.D. Usmanov I.V. Methods for obtaining multifunctional textile materials with polymer

coatings // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2010, №9. P. 91...92.

3. Mountasir S., Hoffman G., Cherif Ch. Development of weaving technology for manufacturing 3-dimensional spacer fabrics // Textile Research Journal. – №81, 2011. P. 1354...1366.

4. Hausding, I., Cherif, Ch. Application of stitch-bonded multiplies // J.Text. Inst. – №103, 2012. P.179...192.

5. Yasinskaya N.N., Olshansky V.I., Kogan A.G. Composite textile materials. – Vitebsk: EE "VGTU", 2016.

6. Yasinskaya N.N., Murycheva V.V., Razumeev K.E. Impregnation of Woven Fabrics from Chemical Yarns during Formation of Composite Textile Materials // Fibre Chemistry. – 2020. Т. 52, №1. P. 28...33.

7. Polushin E.G., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Study of vapor permeability of duplicated textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №6. P. 120...124.

8. Fortuniak K., Grazyna R., Obersztyn E., Olejnik M., Bartczak A., Król I. Assessment and Verification of the Functionality of New, Multi Component, Camouflage Materials // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2013. P. 73...79.

9. Kostyukevich V.V. Production of special fibers and threads with functional properties at OJSC "SvetlogorskKhimvolokno" // MATERIALS of the II International Scientific, Technical and Investment Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing, Minsk, September 16-18, 2019 – Minsk: BSTU, 2019. P. 13...19.

10. Skobova N.V., Yasinskaya N.N., Danilenko A.E., Sokhova A.V. Evaluation of the special properties of functional yarns and knitted fabrics from them for the formation of multilayer shoe materials // News of higher educational institutions. Light industry technology. – 2021. V. 53. №3. P. 68...72.

11. Standart FTTS-FA-004. Specified Requirements of Moisture Transferring and Quick Drying Textiles.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий. Поступила 30.06.22.

**ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ КОМПОНЕНТОВ
НА ПЕРИОДИЧЕСКУЮ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ
ПО СОСТАВУ СМЕШАННОГО ВОЛОКНИСТОГО ПОТОКА**

**THE INFLUENCE OF SOME COMPONENTS FACTORS
ON THE PERIODIC NON-UNIFORMITY IN THE COMPOSITION
OF THE MIXED FIBROUS FLOW**

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Н.В. МИНАЕВА, Т.А. САМОЙЛОВА, Л.М. ГОРОДЕНЦЕВА
P.A. SEVOSTYANOV, N.V. MINAEVA, T.A. SAMOILOVA, L.M. GORODENTSEVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: petrsev46@yandex.ru

Исследуется влияние вариаций параметров периодической неравномерности по линейной плотности компонентов волокнистого потока на его неравномерность по доле компонентов. Для этих целей предложена простая математическая модель объекта исследования. Модель позволяет учесть составляющие периодической неравномерности по линейной плотности компонентов, участвующих в смешанном волокнистом потоке. При этом появляется возможность изучить влияние таких факторов, как амплитуда, период и смещение по фазе этих периодических колебаний. С моделью выполнены вычислительные эксперименты, в которых указанные параметры варьировались в максимальных, имеющих физический смысл, пределах. В качестве критерия вариаций доли компонента предложено использование размаха вариаций доли компонента. Для исследований принято целесообразным использовать однофакторные многоуровневые эксперименты. В экспериментах установлен диапазон варьирования этого критерия в зависимости от вариаций параметров компонентов. Показано, что в широком диапазоне варьирования периодов колебаний линейной плотности компонентов и смещения по фазе этих колебаний вариации размаха доли компонентов не превышает одной десятой средней доли компонента.

The effect of variations in the parameters of periodic non-uniformity in the linear density of the fibrous flow components on its non-uniformity in the proportion of components is studied. For these purposes, a simple mathematical model of the object of study is proposed. The model makes it possible to take into account the components of the periodic non-uniformity in terms of the linear density of the components involved in the mixed fibrous flow. In this case, it becomes possible to study the influence of such factors as the amplitude, period, and phase shift of these periodic oscillations. Computational experiments were performed with the model, in which the specified parameters were varied within the maximum limits that have a physical meaning. As a criterion for variations in the share of the component, it is proposed to use the range of variations in the share of the component. For research, it is customary to use single-factor multilevel experiments. In these experiments, the range of variation of this criterion was established depending on the variations in the parameters of the components. It is shown that in a wide range of variations in

the periods of oscillations of the linear density of the components and the phase shift of these oscillations, the variation in the range of the fraction of the components does not exceed one tenth of the average fraction of the component.

Ключевые слова: волокнистый материал, неравномерность по доле компонента, линейная плотность, периодическая неравномерность, размах вариаций.

Keywords: fibrous material, non-uniformity in component fraction, linear density, periodic non-uniformity, range of variations.

При исследовании периодической неравномерности по линейной плотности потоков волокнистых материалов наиболее распространенной и общепризнанной характеристикой является спектральная плотность дисперсии (СПД) линейной плотности продукта [1...3]. Однако в задачах изучения влияния различных факторов на неравномерность по доле компонентов в этом потоке эта характеристика оказывается не самой удобной. Для многих технологий производства изделий из волокнистых материалов обеспечение равномерности по доле компонентов смешанного волокнистого потока играет не меньшую, если не большую роль, чем равномерность компонентов и смешанного потока по массе или линейной плотности [4...6]. Периодическая составляющая неровноты потока (или волокнистого продукта) по линейной плотности достаточно полно отображается СПД [7...9]. Измерить долевой состав волокнистого потока и получить его СПД с достаточной точностью либо невозможно, либо весьма сложно из-за проблем с измерительной техникой [10...12]. Поэтому имеет смысл использовать математическую модель, связывающую линейную плотность компонентов с их долей в смешанном потоке. Для анализа достаточно рассмотрения двухкомпонентной смеси.

Обозначим $g_1(t)$, $g_2(t)$ функции, описывающие линейную плотность в потоках 1-го и 2-го компонентов. Тогда суммарная линейная плотность смешанного потока равна $g(t) = g_1(t) + g_2(t)$, а доля 1-го компонента в смешанном потоке равна $p(t) = g_1(t) / g(t)$. Нелинейность этого преобразования $\{g_1(t), g_2(t)\} \rightarrow p(t)$ и делает задачу исследо-

вания нетривиальной. Далее рассмотрим периодическую неравномерность по линейной плотности компонентов и периодическую плотность доли 1-го компонента в смешанном потоке. На результат преобразования влияют амплитуды, частоты периодической неровноты компонентов и их смещение по фазе. Примем для линейной плотности компонентов простейшую модель периодической неровноты (1):

$$\begin{aligned} g_1(t) &= G_1 \left(1 + a_1 \cos \left(2\pi \left(\frac{t}{T_1} - b \right) \right) \right), \\ g_2(t) &= G \left(1 + a \cos \left(2\pi \frac{t}{T} \right) \right). \end{aligned} \quad (1)$$

В этих формулах: G , G_1 – средние значения линейной плотности; a , a_1 – амплитуды гармонического колебания в долях от G , G_1 ; T , T_1 – периоды гармонических колебаний; b – смещение по фазе в единицах 2π радиан колебаний линейной плотности 1-го компонента относительно 2-го компонента.

Нелинейность преобразования $\{g_1(t), g_2(t)\} \rightarrow p(t)$ приводит к тому, что функция $p(t)$ – не гармоническая и содержит колебания различных периодов. Для изучения зависимости неравномерности $p(t)$ от различных параметров была выполнена серия многоуровневых однофакторных экспериментов. В качестве контролируемого показателя неравномерности $p(t)$ выбран размах $W = \max\{p(t)\} - \min\{p(t)\}$. Очевидно, что эта величина, как и $p(t)$, лежит в пределах от 0 до 1. Заметим, что размах вариаций доли 2-го компонента также равен W . В табл. 1 показано влияние смещения по фазе периодических вариаций линейной плотности компонентов на размах вариаций их доли в смешанном потоке.

Таблица 1

№ эксперимента	1	2	3	4
Значения фиксированных параметров	$T = 1$ $G = 1$ $a = 0,1$ $T_1 = T$ $G_1 = G$ $a_1 = a$	$T = 1$ $G = 1$ $b = \pi$ $T_1 = T$ $G_1 = G$ $a = 0,1$	$T = 1$ $G = 1$ $b = \pi$ $G_1 = G$ $a = 0,1$ $a_1 = 0,1$	$T = 1$ $G = 1$ $b = \pi$ $T_1 = T$ $a = 0,1$ $a_1 = 0,1$
Варьируемый фактор	b	a_1	T_1	G_1
Диапазон варьирования	$[0; 2\pi]$	$[0; 1]$	$[0,001; 2,000]$	$[0; 10]$
W_{\max}	0,1000	0,6897	0,1000	0,1
Значение варьируемого фактора при $W = W_{\max}$	$b_{\max} = \pi$	$a_{1\max} = 1$	---	$G_{1\max} = 1$

В 1-м эксперименте варьируемым фактором являлось смещение по фазе b , диапазон варьирования b , наибольшее значение W_{\max} показателя W в пределах диапазона варьирования Db , значение b_{\max} , при котором достигается это наибольшее значение, и значения постоянных параметров эксперимента.

Во 2-м эксперименте варьируемым фактором являлось отношение амплитуд колебаний: амплитуда a была постоянной, а амплитуда $a_1 = r a$, причем значение r варьировалось в диапазоне от 0 до 10. В табл. 1 приведены диапазон варьирования a_1 , наибольшее значение W_{\max} показателя W в пределах диапазона варьирования, значение $a_{1\max}$, при котором достигается это наибольшее значение, и значения постоянных параметров эксперимента.

В 3-м эксперименте варьируемым фактором являлось отношение периодов колебаний T_1 и T , причем значение T оставалось постоянным, а $T_1 = k T$, и коэффициент k варьировался в диапазоне от 0,0001 до 2. В табл. 1 приведены диапазон варьирования T_1 , наибольшее значение W_{\max} показателя W в пределах диапазона варьирования и значения постоянных параметров эксперимента. Значение W_{\max} достигается при практически всех значениях варьируемого параметра T_1 , за исключением отдельных значений, при которых вследствие своеобразного эффекта "резонанса" это наибольшее значение заметно уменьшается. Так, при $T_1 = 0,001$ значение W_{\max} уменьшается до 0,05.

В 4-м эксперименте варьируемым фактором являлось отношение средних значе-

ний линейной плотности G_1 и G , причем значение G оставалось постоянным, а $G_1 = m G$, и коэффициент m варьировался в диапазоне от 0 до 10.

В табл. 1 приведены диапазон варьирования G_1 , наибольшее значение W_{\max} показателя W в пределах диапазона варьирования и значения постоянных параметров эксперимента. Значение W_{\max} достигается при равных значениях $G_1 = G$ и равно 0,1.

Результаты компьютерных экспериментов показали, что вариации в широких пределах таких параметров периодической неравномерности по линейной плотности компонентов, как смещение по фазе, относительная амплитуда колебаний и период колебаний, приводят к размаху доли компонента на величину не более 0,1. Только вариации средней линейной плотности компонента могут вызвать значительные, до 69%, вариации доли компонента в смешанном потоке. Вариации доли компонента под действием одного из перечисленных факторов при этом никак не связаны с вариациями других факторов.

ВЫВОДЫ

Предложена простая модель для оценки влияния различных параметров периодической неравномерности по линейной плотности компонентов на неравномерность смешанного потока волокнистого материала по долевым составу компонентов. Методом однофакторных компьютерных экспериментов установлен максимальный размах неравномерности по доле компонентов в зависимости от основных факторов пери-

одической неравномерности. Этот размах доли компонента в большинстве случаев не превышает 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Foster G.A.R., Martindale J. The form and the Length of the Drafting Wave in Cotton Rovings // Journal of the Textile Institute. – Tr.1, 1946.

2. Cox D. The Theory Drafting Wool Slivers // Proceedings of the Royal Society. – Ser.A, №1048, 1949.

3. Севостьянов А.Г. Составление смесок и смешивание в хлопкопрядильном производстве (Теория и практика). – М.: Гизлегпром, 1954.

4. Эммануэль М.В. Объективная оценка способов и качества приготовления смесей в шерстопрядении. – М.: [б. и.], 1963. – 29 с.; 21 см. – (Информация. Серия 4: Шерстяная промышленность/ Центр. ин-т науч.-техн. информации легкой пром-сти Гос. ком. Совета Министров СССР по координации науч.-исслед. работ. Научно-техническая информация; 1 (8)).

5. Севостьянов П.А. Динамика и модели основных процессов прядения: рыхление, очистка, смешивание, кардо- и гребнечесание, вытягивание, дискретизация, штапелирование, кручение, намотка, перемотка. – М.: Клуб-Печати, 2021. ISBN 978-5-9904852-5-9

6. Севостьянов, П.А., Самойлова, Т.А. Спектральные свойства неровноты ленты по компонентному составу // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №2. С.68...72.

7. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А, Вахромеева Е.Н., Монахов В.В. Неравномерность по составу смешанного двухкомпонентного волокнистого потока // Химические волокна. – 2022, №1. С.7...10.

8. Prakash C., Karunakaran K.C. Effect of blend ratio and single, double and plated yarn on moisture management properties of bamboo/cotton jersey knitted fabrics // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.44(3), 2019. P.41...47.

9. Velumani A., Kandhavadi P., Parthiban M. Influence of blend proportion on mechanical properties of banana/cotton blended knit fabric // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.46(1), 2021. P.41...47.

10. Разумеев К.Э., Трухачев В.И., Балакирев Н.А., Юлдашбаев Ю.А. др. Повышение качества продукции овцеводства и звероводства. – М.: РГАУ-МСХА, 2021. ISBN 978-5-9675-1793-8

11. Плеханов А.Ф., Виноградова Н.А., Парпиев Х. и др. Влияние качественных показателей волокна и технологических процессов на свойства. – Иваново: Информатика, 2021. ISBN 978-5-6047047-0-7

12. Chaudhuri A., Majumdar P.K. Effect of blend composition on tensile properties of blended Dref-III yarns // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.40(1), 2015. P.36...42.

REFERENCES

1. Foster G.A.R., Martindale J. The form and the Length of the Drafting Wave in Cotton Rovings // Journal of the Textile Institute. – Tr.1, 1946.

2. Cox D. The Theory Drafting Wool Slivers. Proceedings of the Royal Society. – Ser.A, №1048, 1949.

3. Sevostyanov A.G. Compilation of mixtures and mixing in cotton spinning (Theory and practice). – M.: Gizlegprom, 1954.

4. Emmanuel M.V. An objective assessment of the methods and quality of mixture preparation in wool spinning. – M.: [b. and.], 1963. – 29 p.; 21 cm. – (Information. Series 4: Woolen industry / Central Institute of Scientific and Technical Information of Light Industry State Committee of the Council of Ministers of the USSR for the Coordination of Scientific and Research Works. Scientific and technical information; 1 (8)).

5. Sevostyanov P.A. Dynamics and models of the main spinning processes: loosening, cleaning, mixing, carding and combing, drawing, discretization, stapling, twisting, winding, rewinding. – M.: Club-Print, 2021. ISBN 978-5-9904852-5-9

6. Sevostyanov P.A., Samoilova T.A. Spectral Properties of Ribbon Roughness by Component Composition // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №2. P.68...72.

7. Sevostyanov, P.A., Samoilova, T.A., Vakhromeeva, E.N., Monakhov, V.V. Irregularity in the composition of a mixed two-component fibrous flow // Chemical fibers – 2022, № 1. P.7...10.

8. Prakash C., Karunakaran K.C. Effect of blend ratio and single, double and plated yarn on moisture management properties of bamboo/cotton jersey knitted fabrics // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.44(3). 2019. P.41...47.

9. Velumani A., Kandhavadi P., Parthiban M. Influence of blend proportion on mechanical properties of banana/cotton blended knit fabric // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.46(1). 2021. P.41...47.

10. Razumeev K.E., Trukhachev V.I., Balakirev N.A., Yuldashbaev Yu.A. Improving the quality of sheep and fur farming products: monograph. – M.: RGAU-MSHA, 2021. ISBN 978-5-9675-1793-8

11. Plekhanov A.F., Vinogradova N.A., Parpiev Kh. etc. Influence of qualitative indicators of fiber and technological processes on the properties of yarn – Ivanovo: Informatics, 2021. ISBN 978-5-6047047-0-7

12. Chaudhuri A.; Majumdar P K. Effect of blend composition on tensile properties of blended Dref-III yarns. Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol.40(1), 2015. P.36...42.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 21.06.22.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫРАЖЕНИЯ УСЛОВНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОРИСТОСТИ

EXPRESSION DETERMINATION OF THE CONDITIONAL ELASTICITY MODULUS OF NONWOVEN MATERIALS DEPENDING ON THEIR POROSITY

Ю.М. ТРЕЩАЛИН, М.Ю. ТРЕЩАЛИН, А.Ю. МАТРОХИН

YU.M. TRESCHALIN, M.YU. TRESCHALIN, A.YU. MATROKHIN

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ивановский государственный политехнический университет)

(Lomonosov Moscow State University,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: antropog@yandex.ru; mtreschalin@mail.ru; matrokhin.igta@mail.ru

Предложена дополнительная характеристика прочности объемных нетканых материалов в виде условного модуля упругости, представляющего собой отношение разрывной нагрузки и фактической площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру). На основании экспериментальных данных проведен анализ изменения условного модуля упругости нетканых материалов в зависимости от их пористости. В результате исследований получены математические зависимости, позволяющие вычислить условный модуль упругости и, как следствие, прогнозировать прочностные характеристики нетканых материалов, изготавливаемых различными производителями, с достаточной для проведения технических расчетов точностью.

An additional characteristic of the strength of bulk nonwoven materials is proposed in the form of a conditional modulus of elasticity, which is the ratio of both the breaking load and the actual cross-sectional area of the sample (along the outer contour). Based on the experimental data, an analysis was made of the change in the conditional modulus of elasticity of nonwoven materials depending on their porosity. As a result of the research, mathematical dependencies were obtained that allow calculating the conditional modulus of elasticity and, as a result, predicting the strength characteristics of nonwoven materials manufactured by various manufacturers with sufficient accuracy for technical calculations.

Ключевые слова: нетканый материал, условный модуль упругости, разрывная нагрузка, пористость.

Keywords: nonwoven material, conditional elastic modulus, tensile load, porosity.

Тенденции развития рынка полимерных композиционных материалов [1] обуславливают интерес к исследованиям механических характеристик нитей, жгутов, сеток, тканей, холстов, нетканых материалов и других волокнистых материалов, которые могут выполнять армирующие функции.

Как показывают наблюдения, при растяжении нетканых материалов, в том числе объемных [2], в отличие от других текстильных изделий, достаточно сложно определить усилие, при котором материал фактически теряет прочность, но не разрушается. Поэтому формальный момент разрыва об-

разца происходит при более высокой нагрузке по отношению к той, при которой материал фактически уже не имеет необходимых физико-механических параметров, соответствующих условиям эксплуатации.

С другой стороны, в ходе испытаний образцов объемных нетканых материалов на растяжение в центральной части по мере приложения нагрузки образуется сужение элементарной пробы по ширине и уменьшение ее толщины. На основании показаний разрывной машины в момент разрыва вычисляют разрывную нагрузку, удельную разрывную нагрузку [3], [4], формулы которых учитывают номинальную ширину элементарной пробы.

В ситуации, при которой площадь сечения элементарной пробы к моменту разрыва значительно отличается от исходной, определить истинное значение разрывных характеристик и модуля упругости посредством экспериментальных исследований может быть крайне затруднительно.

Учитывая изложенное, в качестве технического решения предлагается рассмотреть условный модуль упругости, представляющий собой отношение разрывной нагрузки, определяемой в соответствии с [4], и площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру), что позволит прогнозировать прочностные характеристики объемного нетканого полотна в эксплуатации. Современное развитие информационных технологий позволяет проводить совместные измерения, включая разрывную нагрузку и площадь поперечного сечения элементарной пробы нетканого материала.

Применительно к нетканым материалам $E(\xi=1)_m$ $\ln = 0$, а $E(\xi=0)_{\max}$ будет равен модулю упругости полимера, из которого изготовлено волокно (мононить) E_B . Тогда выражение (1) запишется:

$$E_{HM} = -E_B \xi^{n_{HM}} + E_B = E_B(1 - \xi^{n_{HM}}). \quad (4)$$

Анализ экспериментальных данных [5], [6] показывает, что условный модуль упругости зависит от объемной пористости нетканых материалов. Тогда для вычисления условного модуля упругости с достаточной для практических расчетов точностью может быть использовано следующее математическое выражение

$$E(\xi) = K\xi^n + C, \quad (1)$$

где $E(\xi)$ – условный модуль упругости, Па; ξ – пористость нетканого полотна; K , C – постоянные коэффициенты; n – показатель нелинейности функции.

Граничные условия (функция желательности), представленные на рис. 1 (общий вид функциональной зависимости условного модуля упругости нетканого материала от пористости), формулируются следующим образом: в диапазоне изменения $0 \leq \xi \leq 1$ значение $\xi = 0$ соответствует величине $E(\xi) = E(\xi)_{\max}$, $E(\xi) = E(\xi)_{\min}$ имеет место в случае $\xi \approx 1$.

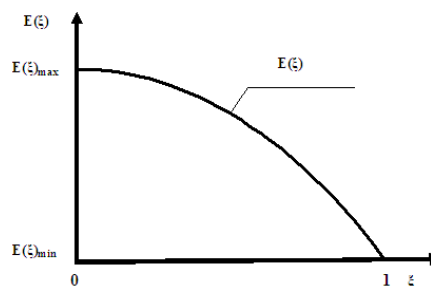


Рис. 1

Значения коэффициентов K и C определяются, исходя из граничных условий:

$$C = E(\xi)_{\max} \text{ при } \xi = 0, \quad (2)$$

$$C + K = E(\xi)_{\min} \text{ при } \xi = 1 \text{ или } K = E(\xi)_{\max} - E(\xi)_{\min}. \quad (3)$$

Отсюда:

$$n_{HM} = \frac{\ln(1 - \frac{E_{HM}}{E_B})}{\ln(\xi)}, \quad (5)$$

где E_{HM} и E_B – условный модуль упругости нетканого материала и модуль упругости полимера, из которого изготовлено волокно (мононить), соответственно, Па.

Определение показателя нелинейности $p_{нм}$ проводится на основании экспериментальных исследований нетканых полотен "Холлофайбер", "Канвалан", "Геотекс" и "Геоком Д", приведенных в [5], [6], изготовленных из полипропиленовых (I группа), полиэфирных (II группа) и смеси полипропиленовых – 80% и полиэфирных – 20% (III группа).

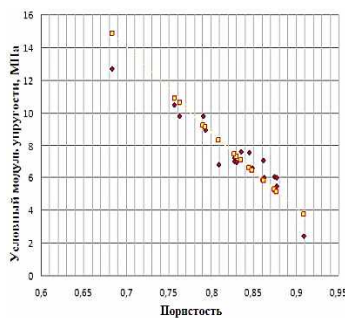


Рис. 2

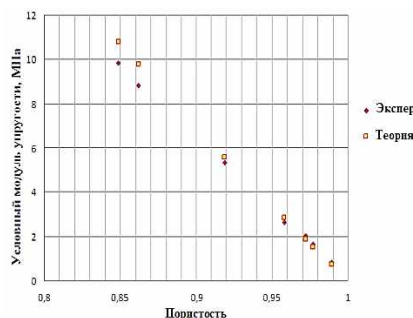


Рис. 3

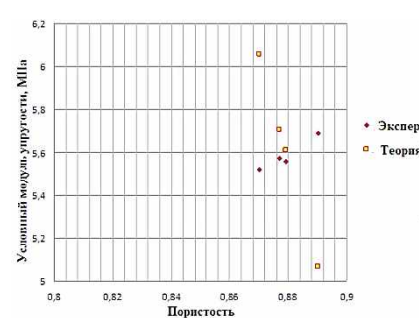


Рис. 4

Обращает на себя внимание достаточно близкое совпадение средних значений p в каждой группе материалов: 0,011202, 0,010146 и 0,010613. В связи с этим возникает предположение о возможности применения осредненной величины $p_{нм} = \frac{0,011202 + 0,010146 + 0,010613}{3} = 0,01065367$

для определения условного модуля упругости, независимо от вида волокнистого состава, способа и технологии изготовления нетканых полотен. При этом погрешность вычислений $p_{нм}$ по отношению к $p_{нм\text{ср}}$ не превышает 9%. Для оценки правомерности этой гипотезы проведено сопоставление условных модулей упругости, полученных на основании экспериментальных данных и вычисленных по формуле $E_{нм} = E_B \cdot (1 - \xi^{0,01065367})$.

ВЫВОДЫ

1. Предложена дополнительная характеристика прочности объемных нетканых материалов в виде условного модуля упругости, представляющего собой отношение разрывной нагрузки и фактической площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру).

2. Исходя из граничных условий определено выражение условного модуля

Результаты расчета $p_{нм}$, выполненные при помощи табличного редактора MS Excel по формуле (5), для каждой из трех групп нетканых полотен представлены на рис. 2...4 (сопоставление экспериментальных и теоретических значений условного модуля упругости для нетканых материалов групп I, II и III соответственно).

упругости нетканого материала от пористости.

3. На основе анализа экспериментальных исследований определены значения показателя нелинейности $p_{нм}$ трех различных групп нетканых материалов. В результате анализа установлено, что применение усредненного значения $p_{нм}$ позволяет с достаточной для проведения технических расчетов точностью вычислять условный модуль упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев Е.В., Степанов С.Г., Киселев М.В., Матрохин А.Ю., Трещалин Ю.М. Полимерные композиционные материалы на волокнистой основе: тенденции развития, характеристики, научные направления и технологии // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С.14...20. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_14.
2. ГОСТ Р 57027–2016. Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р 53226–2008. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
4. ГОСТ 15902.3–79. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
5. Трещалин Ю.М. Обоснование применения нетканых полотен для производства композиционных материалов на текстильной основе: Дис... канд. техн. наук. – Кострома, 2013.
6. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. – М.: Московский госу-

REFERENCES

1. E.V. Rumyantsev, S.G. Stepanov, M.V. Kiselev, A.Yu. Matrokhin, Yu.M. Treschalin / Polymer composite materials on a fibrous basis: development trends, characteristics, scientific directions and technologies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 6. P. 14...20. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_14.

2. GOST R 57027-2016. Cloths non-woven thermally bonded bulk synthetic. General specifications.

3. GOST R 53226-2008. Fabrics are non-woven. Strength determination methods.

4. GOST 15902.3-79. Fabrics are non-woven. Strength determination methods.

5. Treshchalin Yu.M. Substantiation of the use of non-woven fabrics for the production of textile-based composite materials: thesis ... Cand. tech. Sciences. – Kostroma, 2013.

6. Treshchalin Yu.M. Composite materials based on non-woven fabrics. – M.: Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2015.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ. Поступила 15.06.22.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_69

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУКОННОЙ ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ ПОСЛЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПЛАЗМОЙ*

IMPROVING THE QUALITY OF CLOTH FABRIC FOR WORKWEAR AFTER PLASMA NANOSTRUCTURING

Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА

R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: gainutdin_ruslan@mail.ru ; venerabb@mail.ru

В статье представлены результаты научного исследования, ориентированного на решение проблем повышения качества суконных материалов для специальной одежды. Основными показателями, характеризующими качество тканей для специальной одежды, являются характеристики механических свойств. Цель работы заключалась в разработке способов получения наноструктурированных суконных материалов для специальной одежды, которые позволяют повысить прочность, относительное разрывное удлинение и стойкость к истиранию опытных образцов.

Объектами исследования выбраны ткани для спецодежды из шерстяных волокон и с вложением синтетических полиэфирных волокон. Для экспериментальных исследований контрольных и наноструктурированных образцов использовали разрывную машину МТ110-5, а также прибор типа МТ191. Наноструктурирование тканей для спецодежды, проведенное электрофизическим методом модификации с применением обработки потоком неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления, позволяет по-

* Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

высить разрывную нагрузку, относительное разрывное удлинение, стойкость к истиранию опытных образцов за счет использования уникальной полупромышленной плазменной установки периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3", установленной в Центре коллективного пользования "Наноматериалы и нанотехнологии" КНИТУ.

Полученные наноструктурированные суконные ткани для специальной одежды способны повышать разрывную нагрузку от 129 до 160% (по основе) и от 66,6 до 106,6% (по утку); относительное разрывное удлинение от 2,7% до 3,2% и стойкость к истиранию от 6,9 до 46,6% относительно контрольных образцов. При этом суконные материалы Сукно шинельное 2С-400 (образец 1) максимально достигают механических показателей при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20-24$ Па, времени воздействия $\tau=1$ м/мин, мощности разряда $W_p = 4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{возд} = 0,04$ г/с, а в ткани Сукно шинельное 2С-40П (образец 2) при рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=25-27$ Па, мощности разряда $W_p = 3,5$ кВт, расход плазмообразующего газа, воздух, и время воздействия остаются такими же, как и в образце 1.

The article presents the results of a scientific study focused on solving the problems of improving the quality of cloth materials for special clothing. The main indicators characterizing the quality of fabrics for special clothing are the characteristics of mechanical properties. The aim of the work was to develop methods for obtaining nanostructured cloth materials for special clothing, which can increase the strength, relative tensile elongation and abrasion resistance of prototypes.

The objects of the study were selected fabrics for workwear made of wool fibers and polyester with the attachment of synthetic fibers. For experimental studies of control and nanostructured samples, an MT110-5 bursting machine and an MT191-type device were used. Nanostructuring of fabrics for workwear, carried out by the electrophysical modification method using a low-pressure nonequilibrium low-temperature plasma flow treatment, allows to increase the breaking load, relative tensile elongation, abrasion resistance of prototypes due to the use of a unique semi-industrial plasma installation of periodic action "WATT 4000 PT PLASMA 3", installed in the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" KNIU.

The resulting nanostructured cloth fabrics for special clothing are capable of increasing the breaking load from 129% to 160% (on the basis) and from 66,6% to 106,6% (on the weft); the relative tensile elongation from 2,7% to 3,2% and abrasion resistance from 6,9% to 46,6% relative to control samples. At the same time, the cloth materials "Cloth overcoat 2С-400" (sample 1), achieve the maximum mechanical performance with the following parameters of the impact of the low-pressure flow of NNTP: operating pressure in the vacuum chamber $P_k = 20-24$ Pa, exposure time $\tau = 1$ m/min, discharge power $W_p = 4,0$ kW and plasma gas flow rate $G_{возд} = 0,04$ g/s, and in the fabric "Cloth overcoat 2С-40П" (sample 2) at an operating pressure in the vacuum chamber $P_k = 25-27$ Pa, discharge power $W_p = 3,5$ kW, the flow rate of the plasma-forming gas air and the exposure time remain the same as in sample 1.

Ключевые слова: сукно, неравновесная низкотемпературная плазма, механические свойства, разрывная нагрузка, наноструктурирование, ткани для специальной одежды, пропитки.

Keywords: cloth, nonequilibrium low-temperature plasma, mechanical properties, breaking load, nanostructuring, fabrics for special clothing, impregnation.

Повышение качества суконных материалов для одежды специального назначения является сложной задачей, решение которой требует применения нанотехнологий, которые связаны с воздействием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления для улучшения их механических свойств, поскольку грубая толстая шерстяная ткань серого цвета используется для пошива плотной спецодежды (костюмы для сварщиков, сталеваров, металлургов, специалистов химической промышленности), которая подвергается в процессе ее эксплуатации воздействию кислотной и щелочной среды, а также каплям раскаленного металла. Поэтому качественная специальная одежда должна полностью выдерживать нагрузки деформации, материал не должен гореть под воздействием высоких температур, обладать повышенной износостойкостью и защитой от внешних воздействий.

На основе анализа литературы установлено, что механические характеристики любой специальной одежды в основном зависят от используемых материалов. Шерстяные материалы для специальной одежды полотняного переплетения должны отличаться хорошими показателями прочности и растяжимости, теплоемкости, то есть быть практичными при эксплуатации. Для производства суконного материала используется овечья шерсть. Ее волокна настолько сбиты между собой, что совершенно отсутствуют любые просветы между ними. Внешне ткань напоминает войлок, который применяется при изготовлении зимней специальной одежды, где необхо-

димо использовать ткани с соответствующими повышенными механическими характеристиками [1].

Сильно уваленная ткань шерсти, имеющая войлокообразный застил, не всегда может обеспечить необходимые эксплуатационные свойства специальной одежды, поэтому для производства таких шерстяных полотен используются различные механические, химические и физические методы модификации [2...5].

Одним из основных направлений повышения качества одежды специального назначения является повышение ее прочности, относительного разрывного удлинения и износостойкости, так как увеличение срока службы специальной одежды равносильно увеличению ее выпуска без привлечения дополнительных материальных и трудовых ресурсов. В связи с изложенным исследование механических свойств суконных тканей для специальной одежды является актуальным и представляет научный и практический интерес.

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока ННТП пониженного давления на механические свойства текстильных материалов для специальной одежды, которые изготавливались из контрольных и наноструктурированных образцов с содержанием шерстяных волокон.

В качестве объектов исследования выбран ассортимент суконных материалов, применяемых для изготовления защитных швейных изделий специального назначения, характеристики которых представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ образца	Наименование тканей	Артикул	Состав волокон, %		Вес, г/м ²	Переплетение	Пропитка
			шерсть	полиэфир			
1	Сукно шинельное 2С-400 (образец 1)	6425	87	13	760	Полотняное	Огнестойкая
2	Сукно шинельное 2С-40П (образец 2)	6425	87	13	760	Полотняное	Масловодоотталкивающая (МВО)

Обработка опытных образцов суконных тканей осуществлялась на уникальной по-

лупромышленной плазменной установке периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ

ПЛАЗМА 3", где проводилось наноструктурирование материалов с использованием вакуумной камеры, между двумя ВЧ электродами. В камере создавалось пониженное давление и происходила обработка в потоке ННТП, не превышающая температуру 60...80 градусов в сети переменного тока напряжением 380/220 В \pm 5%, частотой 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух [5].

Варьирование входных параметров плазменной установки, к которым относятся: мощность разряда (W_p) осуществлялось от 0,2 до 2,0 кВт, расход плазмообразующего газа (G) от 0 до 0,08 г/с, давление в вакуумной камере (P_k) от 13 до 53 Па и время обработки (τ) от 1 до 3 м/мин, мощность, потребляемая установкой ($P_{потр.}$), от 1,0 до 5,0 кВт.

Наноструктурирование опытных образцов суконных материалов проводилось на образцах артикул 6425: Сукно шинельное 2С-400 (образец 1) и Сукно шинельное 2С-40П (образец 2).

После плазменного наноструктурирования суконных материалов для специальной одежды проводились последующие отделочные операции технологического процесса, в том числе крашение, пропитка, для придания тканям определенных МВО и огнестойких свойств (табл.1). Для этого образцы пропитывали различным химическим составом, в зависимости от их функционального назначения: маслородоотталкивающей (МВО) и огнестойкой пропиткой, поскольку полученные опытные образцы текстильных материалов для одежды специального назначения, прежде всего, должны соответствовать требованиям безопасности труда ГОСТ Р ЕН 340-210 (ЕН 340:2003).

Сведения о безопасности опытных образцов спецодежды из разрабатываемых материалов подлежали проверке. Для этого осуществлялась оценка их качественных характеристик после наноструктурирования в потоке ННТП пониженного давления, в процессе которой определялся уровень сохранения механических свойств опытных образцов одежды специального назначения из разрабатываемых материалов.

Одним из основных показателей, определяющих механические свойства наноструктурированных суконных тканей для специальной одежды с содержанием шерстяных волокон, являлись разрывная нагрузка, относительное разрывное удлинение и стойкость к истиранию. Определение разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения контрольных и наноструктурированных опытных образцов суконных тканей проводилось при одноосном растяжении материалов, согласно ГОСТ 3813-72 [6].

Проведено исследование разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения наноструктурированных суконных тканей для специальной одежды после воздействия потока ННТП пониженного давления. Результаты исследований представлены на рис. 1 и 2.

Максимальную нагрузку при растяжении опытных контрольных и наноструктурированных образцов суконных тканей для одежды специального назначения, определяли на разрывной машине МТ110-5. Испытания проводили до разрушения на 5 опытных образцах, затем определяли среднее значение полученных результатов.

На рис. 1 (изменение разрывной нагрузки в опытных образцах текстильных материалов из сукна шинельного с огнезащитной пропиткой 2С-400 (образец 1) для специальной одежды (1 – по основе; 2 – по утку)) и рис. 2 (изменение разрывной нагрузки в опытных образцах текстильных материалов из сукна шинельного с нефтемаслородоотталкивающей пропиткой 2С-40П (образец 2) для специальной одежды (1 – по основе; 2 – по утку)) представлены диаграммы изменения разрывной нагрузки (по основе и утку), изготовленных контрольных и наноструктурированных образцов суконных тканей для спецодежды из разрабатываемых материалов Сукно шинельное 2С-400 (образец 1) и Сукно шинельное 2С-40П (образец 2). Параметры наноструктурирования: $P_k=20...29$ Па; $W_p = + 3,5...4,0$ кВт; $\tau=1$ м/мин; $G_{возд}=0,04$ г/с.

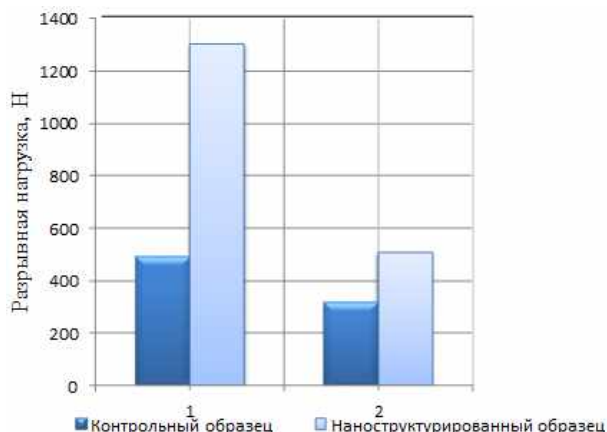


Рис. 1

Как видно из рис. 1, в опытных образцах суконной ткани для спецодежды из наноструктурированных материалов Сукно шинельное с огнезащитной пропиткой 2С-400 (образец 1), разрывная нагрузка по основе увеличилась на 160 %, а по утку повысилась на 66,6% относительно контрольных образцов.

Исследования текстильных материалов для специальной одежды "Сукно шинельное" с МВО пропиткой 2С-40П" (образец 2) показали, что разрывная нагрузка наноструктурированных образцов увеличилась соответственно на 129 и 106,6% относительно контрольных образцов (рис. 2).

Если проанализируем результаты исследований образцов суконных тканей для специальной одежды по относительному разрывному удлинению образцов 1 и 2 (рис. 3 – изменение относительного разрывного удлинения в опытных образцах текстильных материалов (1 – контрольный

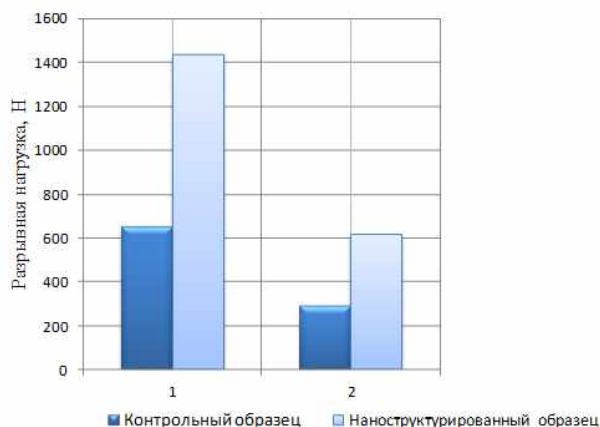
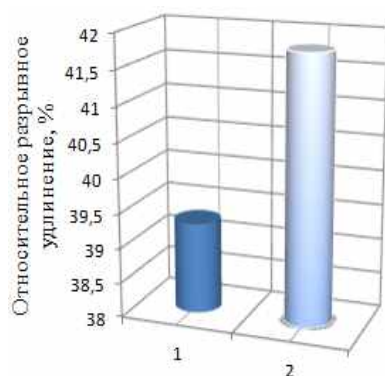


Рис. 2

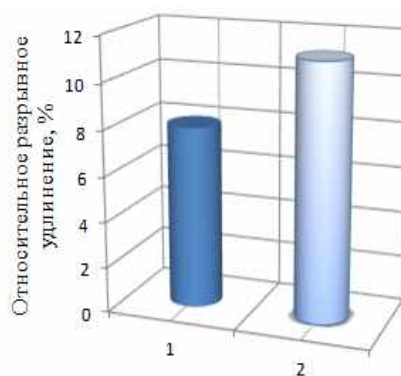
образец; 2 – наноструктурированный образец)), в результате этого получим их увеличение в наноструктурированных образцах, соответственно на 2,7 и 3,2% относительно контрольных образцов без плазменной обработки.

Стойкость тканей к истиранию зависит от вида волокон и силы закрепления их в структуре материала. Наибольшей стойкостью к истиранию обладают ткани, которые состоят из волокон, имеющих высокую стойкость к многократным деформациям растяжения, изгиба, кручения и смятия, например, натуральные волокна шерсти и как правило, смешанные ткани с содержанием синтетических нитей (полиэфир).

Величина стойкости к истиранию на изгибах и поверхности измерялась в соответствии с помощью прибора типа МТ191 на контрольном образце и образце наноструктурированном в потоке ННТП пониженного давления [7].



Сукно шинельное с огнезащитной пропиткой 2С-400 (образец 1)



Сукно шинельное с НМВО пропиткой 2С-40П (образец 2)

Рис. 3

На основе проведенных исследований установлено, что после наноструктурирования ННТП стойкость к истиранию опытных образцов 1 и 2 увеличивается. Резуль-

таты исследований образцов суконных материалов от параметров наноструктурирования ННТП представлены соответственно в табл. 2 и 3.

Т а б л и ц а 1

Мощность разряда W_p , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере P_k , Па			
	$P_k = 16$	$P_k = 20$	$P_k = 24$	$P_k = 28$
2,0	17 200	24 400	25 900	18 200
2,5	18 400	26 200	26 800	19 400
3,0	18 800	27 800	27 200	20 800
3,5	19 600	28 400	28 200	22 600
4,0	18 900	29 000	29 000	26 900
4,5	18 200	27 900	27 800	24 200
Контрольный образец	25 000			

Т а б л и ц а 2

Мощность разряда W_p , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере P_k , Па			
	$P_k = 23$	$P_k = 25$	$P_k = 27$	$P_k = 29$
2,0	27 200	24 800	25 400	26 400
2,5	28 400	26 400	26 700	27 300
3,0	28 800	27 900	27 600	28 300
3,5	29 300	31 000	31 000	29 400
4,0	28 900	29 400	29 200	28 200
4,5	28 200	28 500	28 600	25 500
Контрольный образец	27 000			

На основе полученных результатов исследований опытных образцов и анализа табл. 2 и 3 установлено, что стойкость к истиранию образцов текстильного материала Сукно шинельное крашенное серое 2С-400 с огнезащитной отделкой максимально увеличивается в определенном режиме наноструктурирования ткани: $P_k=20...24$ Па, $W_p=4,0$ кВт, $\tau=1$ м/мин; $G_{возд}=0,04$ г/с, а Сукно шинельное крашенное серое 2С-40П с МВО отделкой при: $P_k=25...27$ Па; $W_p=3,5$ кВт; $\tau=1$ м/мин; $G_{возд}=0,04$ г/с. Стойкость к истиранию опытных образцов тканей с отделкой 2С-400 составляет 29 000 циклов, а с отделкой 2С-40П равно 31 000 циклов, при этом в контрольных образцах соответственно 25000 циклов и 27000 циклов, что превышает требования ГОСТ не менее 600 циклов. Стойкость к истиранию после воздействия потока ННТП пониженного давления увеличивается относительно контрольных образцов в суконной ткани 2С-400 на 16%, а в ткани 2С-40П на 14,8 %.

Таким образом, в суконных материалах для специальной одежды 2С-400 и 2С-40П механические свойства в наноструктурированных опытных образцах увеличиваются за счет наличия в составе тканей полиэфирного волокна (13%), а также уплотнения элементарных волокон и использования гидрофобной МВО и огнестойкой пропиток.

В Ы В О Д Ы

Таким образом, полученные опытные образцы суконных материалов для спец-одежды, прежде всего, соответствуют требованиям безопасности средств индивидуальной защиты, обладают повышенной износостойкостью и защитой от внешних воздействий. Полученные суконные ткани для специальной одежды на основе применения метода наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления способны повышать разрывную нагрузку в зависимости от вида применяемых материалов от

129 до 160% (по основе) и от 66,6 до 106,6% (по утку); относительное разрывное удлинение от 2,7 до 3,2% и стойкость к истиранию от 6,9 до 46,6% относительно контрольных образцов.

При этом материал Сукно шинельное 2С-400 (образец 1) максимально достигает механических показателей при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20...24$ Па, времени воздействия $\tau=1$ м/мин, мощности разряда $W_p = 4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{\text{возд}} = 0,04$ г/с, а в ткани Сукно шинельное 2С-40П (образец 2) при рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=25...27$ Па, мощности разряда $W_p = 3,5$ кВт, а расход плазмообразующего газа и время воздействия остаются такими же, как и в образце 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамматова Е.А. Повышение эксплуатационных свойств готовых изделий одежды специального назначения на основе применения модифицированных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 5. С.74...79.

2. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышение физико-механических свойств технических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С. 56...62.

3. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г. Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №4. С. 75...81.

4. Особенности сукна, его свойства и основные правила ухода за тканью [Электронный ресурс] // Энциклопедия ткани. 2022. Режим доступа: <https://otkani.pro/tkani/sukno/>

5. Пат. 2490377 Российская Федерация, МПК⁷ L) 01 С 3/00, D 06 М 13/144. Способ обработки шерстяного волокна. К.Э.Разумеев, А.Д.Петровский, Т.Н. Кудрявцева; заявитель и патентообладатель Минпромторг РФ. № 2011112643/12; заявл. 04.04.2011; опубл. 20.08.2013. - Бюл. № 28.

6. Ясинская Н.Н., Соколов Л.Е. Биотехнологический способ отделки суконных тканей // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2013, №24. С. 122.

7. Соколов Л.Е., Ясинская Н.Н. Умягчающая отделка суконных тканей // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности: сб. тезисов Международной научно-технической конференции (Текстиль-2012). – М., 2012.

8. Слепнева Е.В., Хамматова В. В. Исследование повышение прочности шерстяного волокна в результате обработки потоком плазмы ВЧЕ-разряда пониженного давления // Текстильная промышленность. – 2010, №4. С.54...57.

9. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). Материалы текстильные. Ткани и шпунтовые изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении (с Изменениями N 1, 2, 3). - Введено 01.01.1973, переутв. 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992. (ИУС 4-82, 12-90, 9-92). – М.: Изд-во стандартов, 1973.

10. ГОСТ 9913-90 (СТ СЭВ 5784-86). Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию. – М.: Изд-во стандартов, 1990.

REFERENCES

1. Khammatova E.A. Improving the performance properties of finished products of special purpose clothing based on the use of modified textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №5. P. 74 ... 79.

2. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №6. P. 56 ... 62.

3. Spiridonova V.G., Tsirkina O.G. Evaluating method analysis of fire-resistant properties of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. P. 75 ... 81.

4. Features of cloth, its properties and basic rules of fabric care [Electronic resource] // Encyclopedia of fabric. – 2022. Access mode: <https://otkani.pro/tkani/sukno/>

5. Pat. 2490377 Russian Federation, IPC7 D 01 With 3/00, D 06 M 13/144. The method of processing wool fiber / K.E. Razumaev, A.D.Petrovsky, T.N.Kudryavtseva; applicant and patent holder of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation. – №2011112643/12; application 04.04.2011; publ. 20.08.2013. Byul. 28.

6. Yasinskaya N.N., Sokolov L.E. Biotechnological method of finishing cloth fabrics // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. – 2013, 24. P.122.

7. Sokolov L.E., Yasinskaya N.N. Softening finishing of cloth fabrics // Modern technologies and equipment of the textile industry: collection of abstracts of the International Scientific and Technical Conference (Textile-2012). – М., 2012.

8. Slepneva E.V., Khammatova V.V. Investigation of increasing the strength of wool fiber as a result of processing by a plasma stream of a liquefied pressure discharge // Textile industry. – 2010, №4. P.54...57.

9. GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82) Textile materials. Fabrics and piece goods. Methods for

determination of tensile breaking characteristics (with amendments N 1, 2, 3). - Entered on 01.01.1973, reappraised 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992 (IUS 4-82, 12-90, 9-92). -M.: Publishing house of standards. - 1973.

10. GOST 9913-90 (ST SEV 5784-86) "Textile materials. Methods for determining abrasion resistance". - M.: Publishing House of Standards. - 1990.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 12.08.22.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_76

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ К МОРСКОЙ ВОДЕ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТКАНЕЙ
ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ ***

**INCREASING THE RESISTANCE TO SEAWATER
OF NANOSTRUCTURED FABRICS
FOR PROTECTIVE WORKWEAR**

Э.А. ХАММАТОВА
E.A. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: elm.kzn@mail.ru

В статье представлены данные научного исследования, направленные на решение проблем повышения стойкости текстильных материалов к морской воде, которые применяются при производстве защитной спецодежды. Цель работы заключалась в разработке способов получения наноструктурированных многофункциональных текстильных материалов (МТМ) для защитной спецодежды, которые позволяют сохранить прочность и стойкость после воздействия морской воды и опытных носок. Объектами исследования выбраны текстильные материалы для защитной спецодежды с содержанием натуральных хлопковых волокон и волокон полиэстера. Для исследования разрывной нагрузки применяли контрольные и наноструктурированные образцы с использованием разрывной машины МТ110-5. Наноструктурирование тканей для защитной спецодежды получило в результате обработки потоком "холодной" плазмы пониженного давления на полупромышленной плазменной установке периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3", которая используется в Центре коллективного пользования "Наноматериалы и нанотехнологии" КНИТУ. При этом МТМ максимально достигают показателей свойств при следующих параметрах воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20$ Па, времени воздействия $\tau=2$ м/мин, мощности разряда $W_p = 4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{возд} = 0,04$ г/с.

* Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

После наноструктурирования и нанесения (водоотталкивающей, маслостойкой, водоотталкивающей, нефтемаслостойкой и других) пропиток, получили МТМ: "Премьер Cotton 300", "Премьер Комфорт-250" и "Cotton Rich 180", из которых изготовили защитную спецодежду для опытных носок и стирок. В результате исследований МТМ после опытных носок и стирок в течение 24 месяцев установлено, что в процессе эксплуатации защитной спецодежды в течение 12 месяцев разрывная нагрузка понижается в контрольных образцах по основе и утку до 62,8%, соответственно после их наноструктурирования она снижается по основе до 29% и по утку на 44%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды разрывная нагрузка в зависимости от видов текстильных материалов уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов. Установлено, что нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах от 3 до 6 месяцев, в наноструктурированных МТМ выдерживается до 12 месяцев.

The article presents the data of scientific research aimed at solving the problems of increasing the resistance of textile materials to seawater, which are used in the production of protective workwear. The aim of the work was to develop methods for obtaining nanostructured multifunctional textile materials (MTM) for protective workwear, which allow maintaining strength and durability after exposure to seawater and experimental socks. The objects of the study were selected textile materials for protective workwear containing natural cotton fibers and polyester fibers. To study the bursting load, control and nanostructured samples were used using the MT110-5 bursting machine. Nanostructuring of fabrics for protective workwear was obtained as a result of processing with a stream of "cold" plasma of reduced pressure on a semi-industrial plasma installation of periodic action "WATT 4000 PT PLASMA 3", which is used in the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" KNITU. At the same time, MTM maximizes the performance of properties with the following parameters of the effect of the flow of "cold" plasma of reduced pressure: operating pressure in the vacuum chamber $P_k = 20$ Pa, exposure time $\tau = 2$ m/min, discharge power $W_p = 4.0$ kW and plasma gas flow rate $G_v = 0.04$ g/s. After nanostructuring and applying (water-repellent, oil-water-repellent, oil-oil-repellent and others) impregnations, MTM received: "Premier Cotton 300", "Premier Comfort-250" and "Cotton Rich 180" from which protective workwear was made for experienced socks and washes. As a result of MTM studies after experimental socks and washings for 24 months, it was found that during the operation of protective workwear for 12 months, the breaking load decreases, in control samples for the base and weft up to 62.8%, respectively, after their nanostructuring, it decreases, for the base up to 29% and for the weft by 44%. After 24 months of operation of workwear, the breaking load, depending on the types of textile materials, decreases by 1.5...2.0 times relative to control samples. It is established that the normative resistance to the effects of seawater is preserved, in control samples from 3 to 6 months, in nanostructured MTMS it is maintained for up to 12 months.

Ключевые слова: стойкость, морская вода, многофункциональный, холодная плазма, разрывная нагрузка, наноструктурирование, текстильный материал, специальная одежда, пропитки.

Keywords: durability, seawater, multifunctional, cold plasma, breaking load, nanostructuring, textile material, special clothing, impregnations.

В последние годы, в связи с развитием современной нефтегазодобывающей промышленности в России, основной ориентир направлен на освоение морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа. Поэтому представители предприятий нефтегазодобычи проявляют интерес к защитной спецодежде для работников морских платформ. Защитная спецодежда, с учетом специфики работы на морских нефтегазодобывающих объектах, кроме требований безопасности в нефтегазовом производстве (общепроизводственных загрязнений и механических воздействий) должна обладать стойкостью к морской воде [1], [2].

Типичные и чрезвычайные условия жизнедеятельности человека на море сопровождаются, как правило, контактом с морской водой и периодически сырой нефтью и ее продуктами. В первую очередь, этот контакт происходит с поверхностью спецодежды. Следовательно, специальный защитный костюм для условий морской нефтегазодобычи должен быть изготовлен из многофункционального текстильного материала (МТМ), который обеспечит защиту от нескольких опасных и вредных природно-производственных факторов и увеличит резерв времени эксплуатации. При этом потеря прочности после воздействия морской воды должна быть не более 10% [3].

Морская соль (NaCl) является неотъемлемой частью морской воды и накапливается в структуре текстильного материала, что приводит к изменению механических и эксплуатационных свойств [4]. Морская соль представляет собой кристаллы, которые способны внедряться в структуру текстиля и задерживаться в ней. В отличие от морской соли нефть представляет собой смесь углеводородов различного молекулярного веса. Они имеют разные температуры кипения с гетероатомами кислорода, серы, азота, некоторых металлов и органических кислот [5]. В связи с изложенным исследование механических свойств МТМ для специальной одежды является актуаль-

ным и представляет научный и практический интерес [6...8].

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока "холодной" плазмы пониженного давления на механические свойства и стойкость специальной одежды к морской воде, которая изготавливалась из МТМ контрольных и наноструктурированных "холодной" плазмой (НХП) образцов с содержанием хлопковых волокон. Воздействие морской воды на МТМ проводили в условиях опытных носок спецодежды на нефтегазодобывающем производстве в течение 24 месяцев путем многократного их поверхностного смачивания морской водой, стирок и последующего высушивания.

Критерием оценки материалов к действию морской воды являлись определение стойкости к поверхностному смачиванию (метод испытания разбрызгиванием) и изменение разрывной нагрузки (Рн). Определение разрывной нагрузки контрольных и наноструктурированных опытных образцов МТМ проводили при одноосном растяжении материалов на разрывной машине МТ110-5 согласно ГОСТ 3813-72 [9].

Ткань считается стойкой к поверхностному смачиванию, если капли морской воды, нанесенные на МТМ, не остаются на поверхности, имеют незначительное случайное прилипание или смачивание.

В качестве объектов исследования выбран ассортимент текстильных материалов, применяемых для изготовления защитных швейных изделий специального назначения, характеристики которых представлены в табл. 1.

Наноструктурирование опытных образцов МТМ осуществляли с использованием уникальной полупромышленной плазменной установки периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3". В камере при пониженном давлении происходила обработка в потоке "холодной" плазмы, не превышающей температуру 50...60°C и частоту генератора 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух [6].

Т а б л и ц а 1

№ образца	Наименование тканей	Артикулы	Состав волокон, %		Вес, г/м ²	Переплетение	Пропитка
			шерсть	полиэстер			
1	"Премьер Cotton 300"	10408	100	-	300	саржевое 3/1	Масловодоотталкивающая (МВО)
2	"Премьер Комфорт-250"	18422 Х	80	20	255	саржевое 3/1	StopOil + нефтемасловодоотталкивающая (НМВО)
3	"Cotton Rich 180"	18444	60	40	180	Сржевое 2/1	Bio Repellent (ВО, антимоскитная)

Входные параметры плазменной установки устанавливали в пределах: мощности разряда (W_p) от 0,6 до 1,8 кВт, расхода плазмообразующего газа (G) от 0,02 до 0,06 г/с, давления в вакуумной камере (P_k) от 26 до 53 Па и времени обработки (τ) от 1 до 3 м/мин.

Испытания МТМ проводили на 5 опыт-

ных образцах до разрушения, затем определяли среднее значение полученных результатов. Результаты мониторинга R_n после воздействия морской воды на объекты исследования МТМ представлены в табл. 2, что свидетельствует о понижении R_n в процессе прохождения опытных носок и стирок спецодежды в течение 24 месяцев.

Т а б л и ц а 2

Виды МТМ	Виды образцов входного контроля по R_n, H основа/уток	Направление испытания	Мониторинг образцов МТМ по разрывной нагрузке R_n, H				
			после опытных носок				
			количество месяцев				
			1	6	12	18	24
			после стирок				
			количество стирок				
"Премьер Cotton 300"	контрольный 822 /630	основа	765,7	649,6	615,8	563,2	551,2
		уток	617,7	597,2	562,5	522,7	489,1
	НХП 1032 /778	основа	999,9	936,1	923,0	872,1	801,1
		уток	736,9	692,1	654,7	619,2	513,04
"Премьер Комфорт-250"	контрольный 798 /610	основа	723,8	636,1	586,8	562,4	477,6
		уток	523,4	475,2	436,4	397,3	301,5
	НХП 1041 /754	основа	991,7	925,4	891,1	844,5	715,5
		уток	696,0	672,1	626,5	600,3	582,2
"Cotton Rich 180"	контрольный 798 /610	основа	723,9	697,0	636,6	578,5	545,2
		уток	535,6	511,2	455,8	424,8	384,6
	НХП 904 /689	основа	855,5	825,6	792,3	736,5	695,4
		уток	642,2	593,7	563,5	529,6	494,4

Результаты исследований МТМ, представленные в табл. 2 позволяют оценить зависимость разрывной нагрузки от времени прохождения опытных носок и стирок после воздействия морской воды. Полученные результаты в табл. 2 показывают, что после 6 месяцев опытных носок и стирки R_n МТМ "Премьер Cotton 300" уменьшается в контрольных образцах по основе на 30,4% и по утку на 5,5%, соответственно после НХП пониженного давления R_n уменьшается по основе на 8,63% и по утку на 12,4%. В процессе опытных носок и стирок МТМС

в течение 12 месяцев R_n также продолжает понижаться, в контрольных образцах по основе на 32,5%, по утку на 12,0%, соответственно после их наноструктурирования R_n снижается, по основе на 10,96% и по утку на 18,83%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды R_n уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов.

Как видно из табл. 2, через 6 месяцев эксплуатации спецодежды из МТМ "Премьер Комфорт-250" R_n снижается в контрольных образцах по основе и утку соответственно на 28,7%, а после НХП пони-

женного давления P_n в МТМ уменьшается по основе на 13,15% и по утку на 12,18%. После 24 месяцев опытных носок и стирок спецодежды в контрольных образцах прочность понижается по основе на 62,8% и утку на 73,7%, а в наноструктурированных образцах соответственно на 29,5% и 44,5%.

По полученным результатам в табл. 2 можно сделать вывод, что P_n в контрольных образцах уменьшается по основе на 14%, по утку на 19,3%, далее от 12 до 18 месяцев эксплуатации теряют P_n по основе на 45%, по утку на 58,6%. В наноструктурированных образцах МТМ показатель P_n после 6 месяцев эксплуатации защитной спецодежды снижается по основе на 10,2% и утку на 10,4%, соответственно после 24 месяцев опытных носок и стирок на 29,14% и 39,3%.

Проведено исследование стойкости к морской воде ($\Delta C_{\text{мор.воде}}$, %) наноструктурированных МТМ для специальной одежды после воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления. Показатель стойкости к действию морской воды в контрольном и наноструктурированном в плазме образцах МТМ измерялся в соответствии с ГОСТ 4920-2014 [10]. Результаты исследований представлены на рис. 1...3. Для оценки стойкости к действию морской воды получили зависимости разрывной нагрузки МТМ "Премьер Cotton 300" (рис.1), "Премьер Комфорт-250" (рис.2) и "Cotton Rich 180" (рис.3) от воздействия морской воды в процессе прохождения опытных носок и стирок спецодежды в течение 24 месяцев.

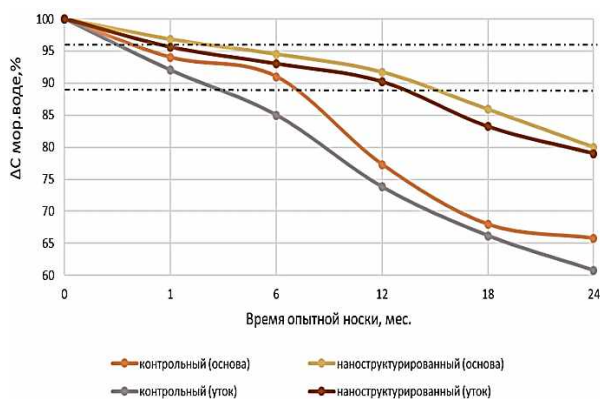


Рис. 1

Как видно из рис. 1, нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах "Премьер Cotton 300" от 3 до 6 месяцев, по сравнению с наноструктурированными МТМ, где $\Delta C_{\text{мор.воде}}$ выдерживается до 12 месяцев.

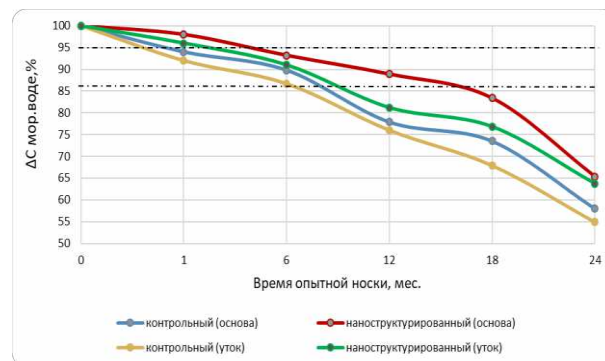


Рис. 2

Результаты исследования, представленные на рис. 2 показали, что предварительное НХП пониженного давления МТМ "Премьер Комфорт-250" позволило сохранить нормативную $\Delta C_{\text{мор.воде}}$ в течение 6 месяцев опытных носок и стирок.

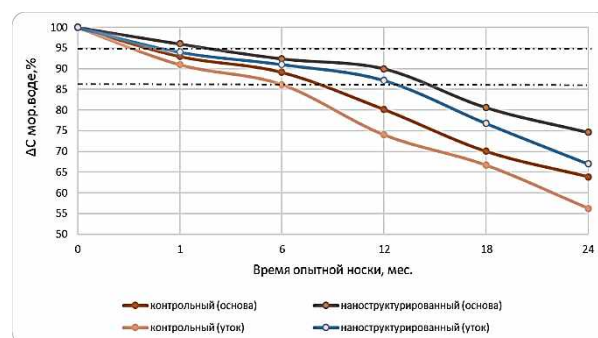


Рис. 3

По полученным результатам на рис. 3 можно сделать вывод, что стойкость МТМ "Cotton Rich 180" к воздействию морской воды сохраняется 6 месяцев в соответствии с нормативными требованиями ($\Delta C_{\text{мор.воде}} \geq 85\%$).

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам экспериментального анализа multifunctional текстильных материалов можно сделать вывод, что наноструктурирование в

потоке "холодной" плазмы пониженного давления позволяет получить прочные и стойкие к воздействию морской воды образцы МТМ для защитной спецодежды.

Установлено, что в процессе эксплуатации защитной спецодежды в течение 12 месяцев разрывная нагрузка понижается в контрольных образцах по основе и утку до 62,8%, соответственно после их наноструктурирования разрывная нагрузка снижается по основе на 29% и по утку на 44%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды разрывная нагрузка в зависимости от видов текстильных материалов уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов.

Проведено исследование стойкости к морской воде наноструктурированных образцов тканей для специальной одежды. Установлено, что нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах от 3 до 6 месяцев, в наноструктурированных МТМ выдерживается до 12 месяцев. При этом МТМ максимально достигают механические и эксплуатационные свойства при следующих параметрах воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20$ Па, времени воздействия $\tau=2$ м/мин, мощности разряда $W_p=4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{\text{возд}}=0,04$ г/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедева Е.О., Матузова С.Ю. Нормативное обеспечение для проектирования специальной одежды для защиты персонала на морских нефтегазодобывающих объектах арктического шельфа // *Фундаментальные исследования*. – 2014, № 6-5. С.928...931.
2. Eleftheria E., Apostolos P., Markos V. Statistical analysis of ship accidents and review of safety level // *Safety Science*. – 2016. P. 282...292.
3. Лисиенкова Л. Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2010.
4. Пат. 2253858, RU, МПК G 01 № 15/08, 33/36. Способ определения водопоглощаемости объемных текстильных материалов из полиэфирных волокон / Сергеев С.Н., Бринк И.Ю., Урванцева М.Л. №2003133726/28; Заявл. 2003133726; Опубл. 10.06.2005, Бюл. № 16.

5. Desarnaud J., Derluyn H., Molari L., Miranda S. Et al. Drying of salt contaminated porous media: Effect of primary and secondary nucleation. *American Institute of Physics, Journal of Applied Physics*. – 2015. Vol. 118, 11. P. 114901. doi: 10.1063 /1.4930292.

6. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышении физико-механических свойств технических материалов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 6. С. 56...62.

7. Хамматова Э.А. Сохранение качества наноструктурированных текстильных материалов после эксплуатационной носки специальной одежды // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, № 5. С. 83...88.

8. Жерносек С.В., Ольшанский В.И. Модификация структуры композиционных текстильных материалов в условиях воздействия СВЧ-излучения // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 6. С. 41...43.

9. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) *Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении (с Изменениями № 1, 2, 3)*. – Введено 01.01.1973, переутв. 01.01.1982 г., 01.09.1990 г., 01.06.1992 г. (ИУС 4-82, 12-90, 9-92). – М.: Изд-во стандартов. – 1973.

10. ГОСТ 4920-2017 (СТ СЭВ 5784-86) *Материалы текстильные. Определение стойкости к поверхностному смачиванию (метод испытания разбрызгиванием)*. – М.: Изд-во стандартов, 2016.

REFERENCES

1. Lebedeva E.O., Matuzova S.Yu. Regulatory support for the design of special clothing for the protection of personnel at offshore oil and gas production facilities of the Arctic shelf // *Fundamental Research*. – 2014, №6-5. P. 928...931.
2. Eleftheria E., Apostolos P., Markos V. Statistical analysis of ship accidents and review of safety level // *Safety Science*. – 2016. P. 282...292.
3. Lisienkova L.N. Development of theory and methods of research of deformation properties of materials under the influence of technological and operational factors: abstract: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. – М., 2010.
4. Pat. 2253858, RU, IPC G 01 No. 15/08, 33/36. Method for determining the water absorption of bulk textile materials made of polyester fibers / Sergienko S.N., Brink I.Yu., Urvantseva M.L. №. 2003133726/28; Application 2003133726; Publ. 10.06.2005, Bul. 16.
5. Desarnaud J., Derluyn H., Molari L., Miranda S. et al. Drying of salt contaminated porous media: Effect of primary and secondary nucleation. *American Institute of Physics // Journal of Applied Physics*. – 2015. Vol. 118, №11. P. 114901. doi: 10.1063 /1.4930292.
6. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, №6. P. 56 ... 62.

7. Khammatova E. A Preservation of the quality of nanostructured textile materials after operational wear of special clothing // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, №5. P. 83 ... 88.

8 Zhernosek S.V., Olshanskiy V.I. Modification of the structure of composite textile materials under the influence of microwave radiation // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, №6. P. 41 ... 43.

9. GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82) Textile materials. Fabrics and piece goods. Methods for determination of tensile breaking characteristics (with

amendments N 1, 2, 3). - Entered on 01.01.1973, reapproved 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992 (IUS 4-82, 12-90, 9-92). – M.: Publishing house of standards. – 1973.

10. GOST 4920-2017 (ST SEV 5784-86) "Textile materials. Determination of resistance to surface wetting (spray test method). – M.: Publishing House of standards. – 2016.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 12.08.22.

УДК 677.021.152

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_83

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МОМЕНТА СХОДА ЧАСТИЦЫ ХЛОПКА-СЫРЦА
С ЛОПАСТЕЙ БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА MATLAB**

**THEORETICAL STUDY
OF DISCHARGE MOMENT OF RAW COTTON PARTICLES
FROM THE BLADES OF A DRUM DRYER
USING THE MATLAB MATHEMATICAL APPARATUS**

¹С.А. ГАЗИЕВА, ¹Х.И. ИБРОГИМОВ, ¹И.А. ИСМАТОВ, ²А.Ф. ПЛЕХАНОВ

¹S.A. GAZIEVA, ¹Kh.I. IBROGIMOV, ¹I.A. ISMATOV, ²A.F. PLEKHANOV

(Технологический университет Таджикистана, Республика Таджикистан,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия)

(Technological University of Tajikistan, Tajikistan Republic,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Russia)

E-mail: sanat.gazieva@yandex.ru; kholms78@list.ru; plekhanov-af@rguk.ru

В работе рассматриваются теоретические вопросы движения летучки хлопка-сырца, исследование движения в подъемно-лопастной системы барабанной сушилки новой конструкции, которая имеет шесть кривых и шесть прямых лопастей в работе. Для решения поставленных задач использован математический инструментарий Matlab – высокопроизводительный язык для проведения технических расчетов. Он включает в себе расчеты, визуализацию и установку в удобной среде программирования, в которой задачи и решения выражены в формулах, близких к математическому выражению технологических процессов.

The paper deals with the theoretical issues of the movement of the raw cotton fly, the study of the movement in the lifting-blade system of a drum dryer of a new design, which has six curves and six straight blades in operation. To solve the set tasks, the mathematical tools Matlab, a high-performance language for carrying out technical calculations, were used. It includes calculations, visualization and installation in a convenient programming environment in which tasks and solutions are expressed in formulas close to the mathematical expression of technological processes.

Ключевые слова: хлопок-сырец, джинирование, процесс сушки, лопастная барабанная сушилка, летучка.

Keywords: raw cotton, ginning, drying process, paddle drum dryer, fly.

При подготовке хлопка-сырца к процессу джинирования он подвергается процессу сушки на лопастных барабанных сушилках.

Определим момент схода летучки с лопасти t_c из условия $X=L=AB$ с примене-

$$v_c = -\frac{g}{\omega} \cos(\omega t_c - \beta) - \frac{gf}{\omega} \sin(\omega t_c - \beta) - \omega^2 R t_c \cos \beta + \frac{g}{\omega} (\cos \beta - f \sin \beta). \quad (1)$$

Для решения данной задачи воспользуемся пакетом Simulink. Эта программа является языком программирования высокого уровня, который предназначен для вычислений и создания моделей различных устройств и систем. Математическое описание объекта использует формулы в определенной последовательности, связывая их друг с другом через общие переменные и когда результаты одной формулы используются как переменные для другой. В таком случае все математическое описание можно рассматривать как систему, а отдельные формулы как ее элементы (блоки), связанные друг с другом [2].

Совокупность графических изображений блоков и линий связи образует блок-

схему ММ. Для этой цели будем рассматривать момент схода летучки с лопасти t_c из условия $X=L=AB$ [1].

Найдем относительную скорость летучки в момент схода ее с лопасти:

схему ММ. Для построения блок-схем и предназначен пакет Simulink MATLAB (Simulation-моделирование).

Пакет Simulink рассчитан на моделирование линейных и нелинейных динамических систем и основывается на принципах визуально-ориентированного программирования с применением в виде комбинирующих компонентов-блоков, путем соединения которых между собой составляются функциональные модели устройств и систем.

С помощью программы Simulink имитируется работа устройств во временной области, а также можно выполнить анализ присущих им свойств.

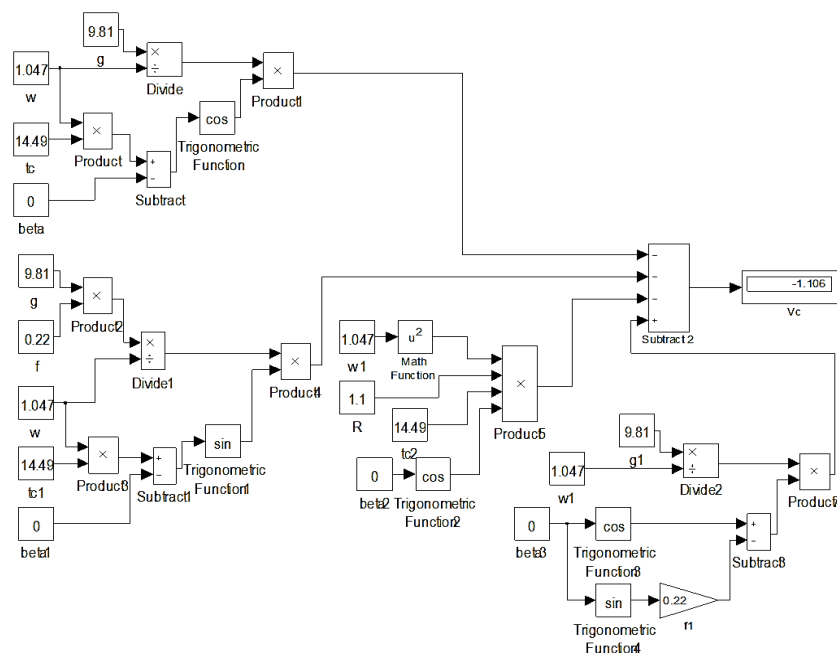


Рис. 1

Simulink способен к систематической верификации и валидации моделей путем проверки моделирования стиля, требований к прослеживанию и анализа покрытия модели.

При моделировании мы можем выбрать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени. В ходе моделирования имеем возможность следить за процессом, происходящим в системе.

На рис. 1 продемонстрированы текстовая надпись и текущее изменение надписи, представленных в блоке передаточной функции. Итак, меняя значение угла β от 0 до 60° (угол изменения положения лопасти в барабане), мы построили модель зависимости скорости V_c от угла β , в которой получили представленные характеристики (рис. 1 – функциональная модель уравнения (1) в системе Simulink).

При $\beta=0$, $t_c=14.49$ с, $V_c=-11,106$ м/с.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	β	t_c	V_c
1	0	14.49	-11.11
2	15	14.27	-14.10
3	30	14.06	-15.80
4	45	13.83	-17.80
5	60	13.40	-18.00
6	75	13.13	-19.24
7	90	12.80	-20.68
8	105	12.36	-21.92
9	120	11.92	-23.11

По этой же программе проводим расчет для других значений: угол наклона лопасти β . При $\beta=15^\circ$, $t_c=14,27$ с, $V_c=-14,1$ м/с, при $\beta=30^\circ$ $t_c=14,06$ с, $V_c=-15,8$ м/с, при $\beta=45^\circ$ $t_c=13,83$ с, $V_c=-17,8$ м/с, при $\beta=60^\circ$ $t_c=13,4$ с, $V_c=-18,0$ м/с.

$$h = R - H; \frac{h}{R} = \cos\varphi; \varphi = \arccos\left(\frac{h}{R}\right) = \arccos\left(\frac{R-H}{R}\right) = \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right), \quad (2)$$

$$S_{cp} = 2\varphi R = D\varphi = D \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right). \quad (3)$$

Окружная скорость барабана:

$$V_{окр} = \omega \frac{D}{2} = \frac{\pi n D}{30 \cdot 2} = \frac{\pi n D}{60}. \quad (4)$$

В табл. 1 приведены численные значения времени (с) и скорости схода летучки (м/с) при различном угле наклона лопастей (град).

На рис. 2 представлена зависимость скорости схода летучки с лопасти от времени.

Далее произведем расчет параметров криволинейных лопастей барабанной хлопкосушилки. Для этой цели по поверхности относительно двух видов лопастей находим движение хлопка-сырца. Сама конструкция барабанной сушилки, имеющая наклонные по отношению к радиусу барабана лопасти показана в [3], [4] и представлена на рис. 3 (объем барабана сушилки, заполненный хлопком-сырцом) в виде барабана, который наполнен хлопком-сырцом в плоскости, перпендикулярной оси его вращения.

H – высота заполнения сечения барабана хлопком-сырцом.

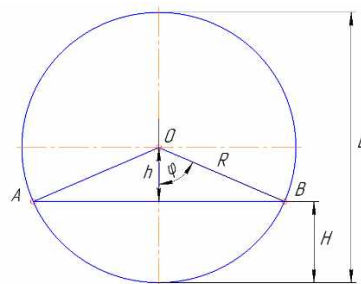


Рис. 3

Вычислим длину дуги АВ, которая равна S_{cp} .

S_{cp} – часть окружности (при движении барабана сохраняется в закрытом виде хлопком-сырцом). По рис.3 значение параметров равно:

Время нахождения хлопка-сырца в завале:

$$\tau_{зл} = \frac{S_{cp}}{V_{окр}} = \frac{D \cdot \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right) \cdot 60}{\pi n D} = \frac{60}{\pi n} \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right). \quad (5)$$

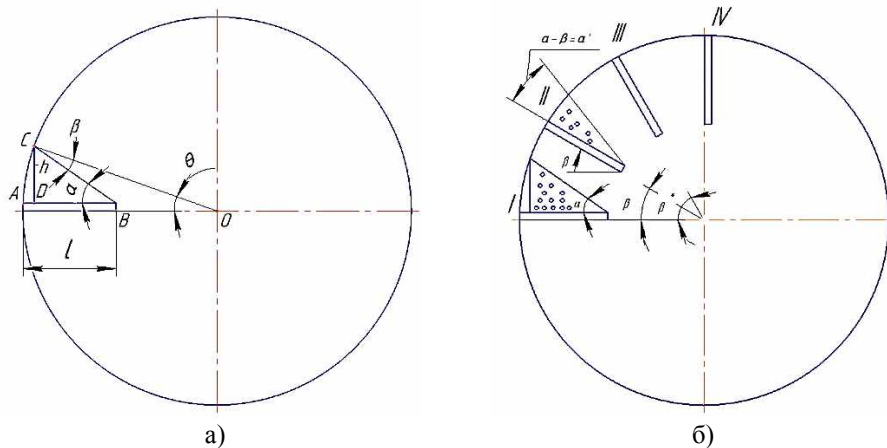


Рис. 4

Определим объем (эффективную площадь сечения) АСВ хлопка, сохраняющегося на площадке лопасти в виде плоской пластины длиной ℓ .

а) Участок движения при $\beta < \alpha$ (рис. 4-а – плоская лопасть). Обозначим $AB = \ell$, $OC = R$.

Из треугольника ОВС по теореме синусов имеем:

$$\frac{R}{\sin(180^\circ - \alpha)} = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{R - \ell}{\sin \beta} = \frac{R - \ell}{\sin(\alpha - \theta)},$$

$$\beta = 180^\circ - (180^\circ - \alpha) - \theta = \alpha - \theta,$$

$$\sin(\alpha - \theta) = \frac{R - \ell}{R} \sin \alpha, \quad \theta = \alpha - \arcsin \left[\frac{R - \ell}{R} \sin \alpha \right], \quad h = R \sin \theta.$$

Площадь фигуры АОС:

$$\begin{aligned} A_{AOC} &= \frac{R^2}{2} \theta, \\ A_{OCD} &= \frac{1}{2} h OD = \frac{1}{2} R \sin \theta R \cos \theta = \frac{R^2}{4} \sin(2\theta), \\ A_{ACD} &= A_{AOC} - A_{OCD} = \left[\frac{R^2}{2} \theta \right] - \left[\frac{R^2}{4} \sin(2\theta) \right] = \frac{R^2}{4} [2\theta - \sin(2\theta)], \\ A_{BDC} &= \frac{1}{2} h BD, \\ AD &= a = R - R \cos \theta = R(1 - \cos \theta), \\ BD &= \ell - a = \ell - R(1 - \cos \theta), \\ h &= BD \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha [\ell - R(1 - \cos \theta)], \\ A_{\beta_i} &= A_{ACB} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \{ \ell - R(1 - \cos \theta) \}^2 + \frac{R^2}{4} \{ 2\theta - \sin(2\theta) \}. \end{aligned} \quad (6)$$

Число частицы при $A_{\beta_i} = \pi r^2$ (частица в виде шара с радиусом- r):

$$n = \frac{A_{ACB}}{A_{\beta_i}}, \quad (7)$$

б) Участок движения при $\beta > \alpha$ (рис. 4-б – схема рабочего положения плоской лопасти).

I – исходное положения прямой лопасти.

II – произвольное положение прямой лопасти.

III, IV – положение, при котором все летучки хлопка-сырца выпали.

α – угол естественного откоса для хлопка.

Уравнения, но вместо α подставим $\alpha^I = \alpha - \beta$.

Чтобы провести расчеты, необходимо пренебречь трением, возникающим между летучкой и лопастью, а также трением между летучками (силой их сцепления друг с другом).

Расчет θ – по формуле пункта а; A_{ACB} – по формуле (6). Везде вместо α подставим $\alpha^I = \alpha - \beta$. Критический угол $\beta^* = \alpha$.

Таким образом, все летучки могут покидать лопасти при $\beta^* = \alpha$.

Разобьем интервал движения барабана в пределах от $0 \leq \beta \leq \beta^*$ на k одинаковых участков:

$$\beta_i = \frac{\beta^* - 0}{k} i, \text{ где } (i = 0 \div k). \quad (8)$$

Площадь фигуры ABC изменится на интервале движения $\beta_{i-1} \leq \beta \leq \beta_i$:

$$\Delta A_{\beta_i} = A_{\beta_{i-1}} - A_{\beta_i}. \quad (9)$$

Величина средней высоты падения на участке поворота в условиях, когда падение с лопасти летучек считается равномерным:

$$h_{\beta_{icp}} = \frac{1}{2} (h_{\beta_i} + h_{\beta_{i-1}}) \quad (i = 1, 2, \dots k). \quad (10)$$

Или, подставив значение h_{β_i} :

$$h_{\beta_{icp}} = \frac{1}{2} (R - l) \{ \sin \beta_i + \sin \beta_{i-1} \}. \quad (11)$$

Число выпавших летучек на участке $\beta_{i-1} \leq \beta \leq \beta_i$:

$$\Delta n_i = \frac{\Delta A_{\beta_i}}{A_{л}}. \quad (12)$$

Средняя высота падения летучек с лопастей:

$$h_{ncp} = \frac{\sum (\Delta n_i h_{\beta_{icp}})}{\sum \Delta n_i}. \quad (13)$$

На основании экспериментальных исследований ЦНИИХпрома устанавливается

эмпирическая зависимость средней скорости падения частиц хлопка-сырца [5]:

$$V_{ncp} = 1,7 + 3 l_g h_{ncp}. \quad (14)$$

Отсюда время падения летучек:

$$\tau_n = \frac{h_{ncp}}{V_{ncp}}. \quad (15)$$

Для проверки при условиях сравнительно малых высот падения частиц хлопка-сырца с лопастей с пренебрежением сопротивления теплоносителя можно принять:

$$\tau_n = \sqrt{\frac{2h_{ncp}}{g}} = \frac{1}{2,23} \sqrt{h_{ncp}}. \quad (16)$$

Плоские лопасти (их всего $n=6$ штук) установлены равномерно под углом:

$$\gamma = \frac{360^0}{n} = \frac{360^0}{6} = 60^0.$$

Поскольку $\gamma > \alpha$ (угол падения хлопка с плоской лопастей) то каждая лопасть за 1 оборот барабана примет 1 раз участие в рабочем цикле. В общем $n = 6$ плоских лопастей обеспечат время падения хлопка:

$$\tau_n^I = \sum \tau_n = 6. \quad (17)$$

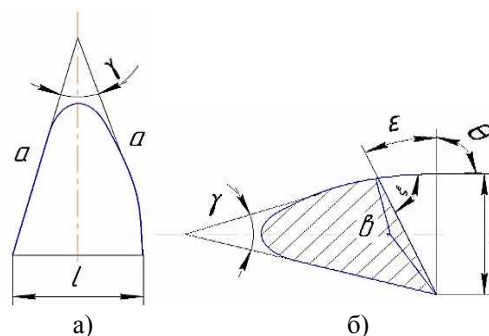


Рис. 5

Рассмотрим ту же задачу для случая криволинейных лопастей (рис. 5 – форма криволинейной лопасти: а) – определение параметров лопасти; б) – определение объ-

ема хлопка в криволинейной лопасти при повороте на угол β).

Определим объем (эффективную площадь сечения хлопка), сохраняющуюся на площадке криволинейной лопасти.

Пренебрегая кривизной стенки "а", считаем, что имеем равнобедренный треугольник:

$$A = \frac{1}{2} a \cdot a \cdot \sin \gamma = \frac{\ell^2 \sin \gamma}{4 \sin^2(\gamma/2) \cdot 2} = \frac{\ell^2 2 \sin(\gamma/2) \cos(\gamma/2)}{4 \cdot \sin^2(\gamma/2) \cdot 2} = \frac{\ell^2 \cos(\gamma/2)}{4 \sin(\gamma/2)},$$

или

$$A = \frac{\ell^2}{4 \operatorname{tg}(\gamma/2)}. \quad (18)$$

1) Положение, когда криволинейная лопасть будет полностью свободна от хлопка-сырца:

$$\begin{aligned} (\beta')^* + \alpha - \frac{\gamma}{2} &= 90^\circ, \\ (\beta')^* &= 180^\circ - \beta^*, \\ 180^\circ - \beta^* + \alpha - \frac{\alpha}{2} &= 90^\circ, \\ \beta^* &= 90^\circ + \alpha - \frac{\alpha}{2}, \\ \varepsilon &= 90^\circ - \frac{\gamma}{2} - \alpha - \psi = 90^\circ - \left(\psi + \frac{\gamma}{2}\right), \\ \psi + \frac{\gamma}{2} + 180^\circ &= \beta^1 + 90^\circ = 180^\circ - \beta + 90^\circ, \\ \psi + \frac{\gamma}{2} &= 90^\circ - \beta, \\ \varepsilon &= 90^\circ - \alpha - (90^\circ - \beta) = \beta - \alpha, \end{aligned}$$

где α – угол естественного откоса хлопка-сырца.

Зависимость начинает действовать с $\beta_{\min} = \alpha$.

При повороте на угол β криволинейной лопасти ($\beta > \alpha$) "верхняя" часть хлопка в виде комка уже выпала и начал выпадать хлопок из полости криволинейной лопасти.

$$\begin{aligned} \frac{b}{\sin \theta} &= \frac{1}{\sin \xi}, \\ \xi &= 180^\circ - \varepsilon - \theta = 180^\circ - \left(90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) - \varepsilon = 90^\circ + \frac{\gamma}{2} - \varepsilon, \\ b &= \frac{\ell \sin \theta}{\sin \xi} = \frac{\ell \cos(\gamma/2)}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)}, \\ A_\beta &= \frac{1}{2} \ell b \sin \varepsilon = \frac{1}{2} \ell \frac{\ell \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\Delta A_\beta = A - A_\beta = \frac{\ell^2}{4 \operatorname{tg}(\gamma/2)} - \frac{\ell^2 \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{2 \cos(\gamma/2 - \varepsilon)} = \frac{\ell^2}{4} \left\{ \frac{1}{\operatorname{tg}(\gamma/2)} - \frac{2 \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)} \right\}. \quad (20)$$

$$\frac{1}{\sin(\gamma/2)} = a$$

или

$$a = \frac{1}{2 \cdot \sin(\gamma/2)}.$$

Площадь треугольника:

Новая (уменьшенная) площадь A_β найдется:

$$\begin{aligned} \theta &= 90^\circ - \frac{\gamma}{2}, \\ \sin\left(90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) &= \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right). \end{aligned}$$

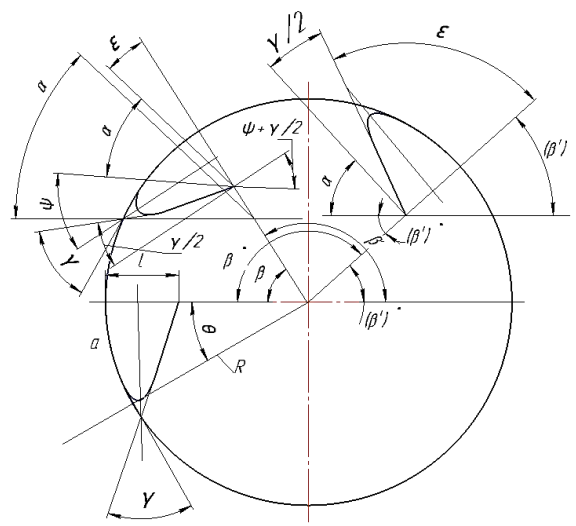


Рис. 6

По теореме синусов (рис. 6 – рабочее положение лопасти криволинейного профиля):

Далее расчет проводим подобно расчету для плоской лопасти. Разобьем интервал движения барабана от $\alpha \leq \beta \leq \beta^*$ на k одинаковых участков:

$$\beta_i = \frac{\beta^*}{k} i + \alpha \quad (i = \overline{0, k}).$$

Площадь "рабочего сечения" (заполненного хлопком) изменится:

$$\Delta A_{\beta_i} = A_{\beta_{i-1}} - A_{\beta_i}.$$

В общем $n = 6$ криволинейных областей обеспечат время падения хлопка:

$$\tau_n'' = \sum \tau_n = 6\tau_n. \quad (21)$$

В целом 6 кривых и 6 плоских лопастей обеспечат время падения хлопка:

$$\tau_n = \tau_n' + \tau_n''. \quad (22)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, рассмотрены теоретические вопросы движения летучки хлопко-сырца, исследование движение частицы в новой конструкции барабанной хлопкосушилки, которая имеет шесть кривых и шесть прямых лопастей, и, следовательно, рассмотрено решение 1 и 2-й частей поставленной задачи. Внутри барабана, вдоль его радиального сечения, расположены два типа лопастей, "черпающих" хлопок из резервуара" хлопко-сырца. Во время сушки хлопко-сырца лопасти, которые забирают летучки, встряхивают их в самом резервуаре, и при этом достигается наибольшая доступность его для сушки посредством продуваемого через барабан горячего воздуха. В то же время лопасти, которые поднимаются вверх забирают хлопок-сырец, при этом обеспечивается непрерывная сушка его во время выпадения с площадок, роль, которую выполняют плоская лопасть или криволинейная лопасть. С большей высоты падения хлопко-сырца, т.е. подъемом над уровнем "резервуара", будет выше эффективность действия на материал продуваемого горя-

чего воздуха. Установленное суммарное время нахождения хлопко-сырца при таких условиях падения, непосредственно в резервуаре, приводит к точности в определении уровня и степени термообработки хлопко-сырца и его компонентов, рассчитанные на данную конструкцию барабана сушилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 1. Статика и кинематика – М.: Наука, 1967.
2. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. – М.: Наука, 1987.
3. Парпиев А.П., Садилов М.С., Саидов М.Р. Повышение равномерности распределения сушильного агента в барабанной сушилке // Сб. науч. трудов ТИТЛП: Технология текстильного сырья и материалов. – Ташкент, 1984. С.27...31.
4. Иброгимов Х.И., Сафаров М.М., Абулхаев В.Д. Кинетика сушки волокнистых материалов (хлопковой массы) // Сб. мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). – М.: МГАУ, 2002. С.188...191.
5. Иброгимов Х.И., Сафаров М.М., Гулов Т.А. Режим сушки хлопко-сырца в барабанной сушилке // Сб. мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). – М.: МГАУ, 2002. С.184...187.
6. Михайлов Н.М. Теплообмен между газом и струей частиц, падающих с лопаток барабанной сушилки // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1966, № 1. С.12...15.
7. Исмаилов И.А. Совершенствование конструкции подъемно-лопастных систем барабанной хлопкосушилки для повышения влагоотбора, качества волокна и семян: Дис.... канд. техн. наук. – Душанбе, 2020.
8. Ходжиев М.Т., Аббазов И.З., Плеханов А.Ф., Мухаметишина Э.Т., Таишутатов Д.С. Создание эффективной технологии очистки воздуха, выделяемого в процессе переработки хлопко-сырца. – Иваново: АО "Информатика", 2021.

REFERENCES

1. Bat M.I., Janelidze G.Yu., Kelzon A.S. Theoretical mechanics in examples and problems. Volume 1. Statics and kinematics. – M.: Nauka, –1967.
2. Amelkin V.V. Differential equations in applications. – M.: Nauka. –1987.
3. Parpiev A.P., Sadikov M.S., Saidov M.R. Increasing the uniformity of the distribution of the drying agent in the drum dryer // Coll. scientific. Proceedings of TITLP "Technology of textile raw materials and materials". – Tashkent, 1984. P. 27...31.

4. Ibrogimov Kh.I., Safarov M.M., Abulkhaev V.D. Kinetics of drying fibrous materials (cotton mass) // Coll. materials of the International scientific-practical conference "Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal-moisture treatment of materials)". – M.: MGAU, 2002. P.188...191.

5. Ibrogimov Kh.I., Safarov M.M., Gulov T.A. Drying mode for raw cotton in a drum dryer // Coll. materials of the International Scientific and Practical Conference "Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal and moisture treatment of materials)". – M.: MGAU, 2002. P.184...187.

6. Mikhailov N.M. Heat exchange between gas and a jet of particles falling from the blades of a drum dryer

// Journal of Chemical and Oil Engineering. – 1966, №1. P. 12...15.

7. Ismatov I.A. Improvement of the design of lifting-blade systems of a drum cotton dryer to increase moisture extraction, quality of fiber and seeds: Diss....Cand. tech. sciences. – 2020.

8. Khodzhiyev M.T., Abbasov I.Z., Plekhanov A.F., Mukhametshina E.T., Tashpulatov D.S. Creation of an effective technology for purifying the air released during processing of raw cotton. – Ivanovo: JSC "Informatika", 2021.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 12.08.22.

УДК 677.021

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_90

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ, ПОЛУЧЕННОЙ КЛЕЕВЫМ СПОСОБОМ

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF LINEN YARN OBTAINED BY THE ADHESIVE METHOD

П.Н. РУДОВСКИЙ¹, И.С. БЕЛОВА¹, Н.С. КУЗНЕЦОВА², С.В. ПАЛОЧКИН³

P.N. RUDOVSKY, I.S. BELOVA, N.S. KUZNETSOVA, S.V. PALOCHKIN

¹ Костромской государственной университет,

² Военная академия радиационной, химической и биологической защиты
им. маршала Советского Союза С.К. Тимошенко,

³ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

(¹ Kostroma State University,

² Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection
named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko

³ Bauman Moscow State Technical University)

E-mail: pavel_rudovsky@mail.ru, belova_irina44@mail.ru, leto044@yandex.ru, palnigs@mail.ru

Традиционные способы прядения льна с использованием кручения имеют низкую производительность. Применение вьюрковых прядильных машин позволяет повысить производительность оборудования и труда, однако получаемая пряжа имеет низкую прочность. Предлагается использовать упрочнение вьюрковой пряжи за счет пропитки клеевыми составами. В статье представлены методика и результаты экспериментов по упрочнению льняной вьюрковой пряжи клеевым способом. В качестве клеящего состава предложено использовать ПВА, ПВС, крахмал и серицин – природный клей, содержащийся в оболочке кокона тутового шелкопряда. Проведен сравнительный анализ физико-механических свойств полученных образцов пряжи. Произведены замеры линейной плотности и неровноты по линейной плотности, относительной разрывной нагрузки, изучены характеристики спектрограмм неровноты пряжи. На основе полученных данных сделан вывод о целесообразности клеевого упрочнения пряжи с целью использования ее в ткачестве.

Traditional spinning methods using torsion have become unproductive. The use of reel spinning machines makes it possible to increase the productivity of equipment and labor, but the resulting yarn has low strength. It is proposed to use hardening due to impregnation with adhesive compounds. The article presents materials for conducting an experiment with the purpose of strengthening flax reel yarn by the adhesive method. As an adhesive, it is proposed to use PVA, PVS, starch and sericin – a natural glue contained in the shell of a silkworm. A comparative analysis of the physical and mechanical properties of the obtained yarn samples was carried out. Measurements of linear density and unevenness by linear density, relative breaking load were made, the characteristics of spectrograms were studied. Based on the data obtained, the conclusion is made about the positive result of the use of adhesive methods of yarn production in order to strengthen the finished product.

Ключевые слова: льняная вьюрковая пряжа, клеевой метод упрочнения, пропитка связующим, серицин, прочность и качество пряжи.

Keywords: linen reel yarn, adhesive hardening method, binder impregnation, sericin, yarn strength and quality.

Введение

Традиционные способы формирования льняной ровницы на классических ровничных машинах и выработки льняной пряжи на кольцевых прядильных машинах, связанные с использованием кручения, имеют низкую производительность [1]. Решению этой проблемы посвящен ряд исследований [2...5] по разработке бескруточных технологий получения льняной ровницы и льняной пряжи. Однако анализ их результатов показал, что вместе с ростом скорости выпуска продукта уменьшается его прочность. Поэтому при выработке пряжи бескруточным способом вопрос ее прочности требует особого внимания.

Существует значительный экспериментальный материал по упрочнению бескруточной пряжи клеевыми способами, суть которых состоит в том, что мычку или ровницу пропитывают некоторым связующим. Анализ существующих клеевых способов формирования пряжи показал, что опыты с проклеиванием пряжи без действительной крутки с целью упрочнения готовой продукции дают положительные результаты [6...7]. Однако пряжу, не имеющую крутки, в процессе формирования необходимо высушивать. Сушка является весьма энергоемким процессом, который делает выпуск пряжи экономически невыгодным. Как по-

казали предварительные эксперименты, сочетание вьюркового способа получения льняной пряжи с клеевым упрочнением является перспективным направлением, сочетающим положительные качества обоих способов [5]. Применение природного клеящего состава на основе серицина открывает новые возможности для упрочнения вьюрковой пряжи путем ее проклейки.

Существующие клеевые способы основаны на применении экологически неблагоприятных клеевых растворов, таких как ПВА, ПВС и КМЦ. После получения пряжи клеевой состав из нее необходимо удалять в процессе отделки. Если в качестве связующего использовать серицин – природный клей, содержащийся в оболочке кокона тутового шелкопряда, то удаление клеящего состава не требуется. Имеется опыт использования серицина как основного элемента шликты [8], [9]. Были проведены эксперименты по сравнению сил адгезии ПВА, ПВС и серицина [10]. Силы адгезии у ПВА почти в три, а у ПВС в восемь раз выше, чем у серицина. Однако силы адгезии нельзя рассматривать как основной фактор при выборе клеевого состава для упрочнения пряжи.

С одной стороны, при выборе концентрации клеящего состава для проведения экспериментов по получению упрочненной

вьорковой пряжи исходили из того, что количество клея в составе пряжи должно быть минимальным. С другой стороны, учитывалась особенность технологии получения серицина из отходов переработки коконов, не позволяющая получать растворы с концентрацией более 6%. Сравнение сил адгезии серицина со значениями разрывной нагрузки волокон показывает, что эти величины одного порядка. Поэтому для получения пряжи клеевым способом в качестве максимальной была выбрана концентрация серицина 6%. При использовании ПВА и ПВС использовались растворы с меньшими концентрациями.

Методы

Для экспериментальной проверки технологии упрочнения вьюрковой льняной пряжи использовались растворы ПВА, поливинилового спирта (ПВС), серицина и крахмала. Выработка пряжи производилась на прядильной машине модульного типа марки МПБ-1 с двумя выпусками.

При проведении экспериментального исследования в качестве исходного сырья была выбрана льняная ровница окислительной варки линейной плотности 600 текс, которая хранилась в высушенном виде [11].

Были приготовлены клеевые растворы ПВА, ПВС, серицина и крахмала в малых концентрациях (не более 6 %) по четыре образца для каждого вида клеящего вещества. Перед прядением катушки с ровницей в течение суток замачивались в клеевом растворе. Катушка для выработки контрольного варианта пряжи замачивалась в воде.

При проведении эксперимента на прядильной машине были установлены следующие параметры: давление во вьюрке 0,3 МПа, вытяжка 10, скорость наматывания 40 м/мин. Далее производилась наработка пряжи в количестве 500 г для каждого варианта.

После выработки экспериментальные образцы пряжи высушивались естественным образом. Перед проведением испытаний они в течение трех суток выдерживались в климатической камере при нормальных условиях.

Для полученных вариантов пряжи производились замеры:

– линейной плотности и неровноты пряжи по линейной плотности согласно ГОСТ 6611.1–73 "Нити текстильные. Метод определения линейной плотности",

– относительной разрывной нагрузки и неровноты по разрывной нагрузке по ГОСТ 6611.2-73 "Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве",

– спектра неровноты и количества пороков на приборе КЛА-2.

Результаты и обсуждения

В табл. 1 приведены значения удельной разрывной нагрузки полученной вьюрковой пряжи из ровницы с пропиткой клеевыми растворами ПВА, ПВС, серицина и крахмала различной концентрации, а также соответствующие значения для контрольного образца.

Таблица 1

Вид пропитки и концентрация	Линейная плотность, текс	Коэффициент вариации по линейной плотности, %	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	
Контроль	64	5,3	11,59	19,6	
Концентрация ПВА, %	1	64,2	4,5	12,3	19,02
	3	64,5	5,1	14,1	19,3
	5	65,1	4,9	14,9	19,1
	6	65,5	4,7	15,9	18,7
Концентрация серицина, %	2	64,5	6	13,05	20,6
	3	64,8	5,5	14,1	19,8
	5	65,6	5,4	14,9	18,7
	6	66	5,1	15,4	18,8
Концентрация ПВС, %	1	65	5,3	11,9	20,3
	1,5	65,4	5,8	12,3	19,8
	2	66	6	13,41	21,3
	3	67	5,4	14,3	20,1

Концентрация крахмала, %	1	64,6	5,3	12,03	19,29
	1,5	65	5,5	12,7	19,03
	2	66	6	13,1	19,1
	3	67	5,8	14,03	20,2

Из данных в табл. 1 видно, что с ростом концентрации клеевых растворов несколько возрастает линейная плотность пряжи. Это связано с тем, что некоторое количество клея после выработки и высушивания пряжи остается в ее составе. Вследствие того, что линейная плотность для разных вариантов отличается, сравнивать их по абсолютной разрывной нагрузке некорректно.

Сравнение проводилось по удельной разрывной нагрузке, значения которой приведены в таблицах. Согласно этим данным пропитка любым из испытанных клеевых растворов приводит к росту удельной разрывной нагрузки.

Введение клеящего состава в ровницу приводит не только к изменению прочности пряжи, но и влияет на протекание процес-

сов формирования пряжи. Так, установлено, что при концентрациях растворов ПВС и крахмала более 3% происходит налипание мычки на валик первой линии вытяжного прибора. Это ведет к повышенной обрывности. Поэтому эксперимент при концентрациях более 3% с этими клеящими составами не проводился. При использовании серицина и ПВА такое явление не наблюдалось.

В табл. 2 проведено сравнение прочности пряжи с контрольным вариантом (замачивание водой без клеящего состава) и показателями льняной кольцевой пряжи мокрого прядения группы ОЛ первого сорта по ГОСТ 10078–85 [1], при изготовлении которой катушки с ровницей были пропитаны клеящим раствором серицина в концентрации 6 %.

Таблица 2

Параметры сравнения	Контрольный вариант (без пропитки ровницы)	Кольцевая пряжа ОЛ по ГОСТ 10078–85
Линейная плотность, текс	64	64...200
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	5,3	6,2
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	11,59	14,8 ± 0,8
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	19,6	19

Таким образом, результаты исследований показали, что пропитка ровницы клеевым раствором привела к увеличению прочности готовой пряжи. Удельная разрывная нагрузка контрольного образца значительно ниже соответствующего показателя для кольцевой пряжи мокрого прядения группы ОЛ первого сорта.

При пропитке ровницы растворами ПВА и серицина в концентрации 3% удельная разрывная нагрузка достигает значений соответствующих кольцевой пряже. При увеличении концентрации клея до 6% прочность готового продукта повышается примерно на 35% при использовании в качестве связующего раствора ПВА и примерно

на 28% при использовании раствора серицина, что сравнимо с показателями кольцевой пряжи мокрого прядения группы СрЛ первого сорта. Пряжа, полученная с использованием пропитки раствором ПВА, получилась достаточно жесткой. Этот фактор может повлиять на процесс переработки пряжи в ткачестве и вязании, а также на качество готовой продукции.

Применение в качестве пропитки ровницы растворов ПВС и крахмала также привело к увеличению прочности наработанной пряжи. При использовании 3%-ных растворов показатель удельной разрывной нагрузки сравним с соответствующим показателем кольцевой пряжи мокрого пряде-

ния первого сорта группы ОЛ. Таким образом, применение данных клеевых растворов позволило повысить прочность пряжи примерно на 22%.

Стоит заметить, что после высушивания паковок с готовой пряжей слипания витков не происходило. Предварительная клеевая пропитка ровницы не ухудшила процесс сматывания пряжи с прядильной паковки [9]. Это можно объяснить тем, что при прохождении через пневматический вьюрок пряжа интенсивно обдувается воздухом и в значительной степени высушивается. При использовании в качестве связующего растворов ПВС и крахмала полученная пряжа отличалась многочисленными внешними пороками: шишковатостью, заметными от-

резками утолщения и утонения. При применении серицина наработанная пряжа получилась более ровной и гладкой.

С целью изучения характеристик неровноты полученной пряжи были проведены исследования на автоматизированном лабораторном комплексе КЛА-М. Было обследовано по 4 отрезка длиной 6 м всех образцов наработанной пряжи с учетом концентрации и вида клеевого раствора, используемого для пропитки ровницы. На основе полученных данных были изучены характеристики неровноты по линейной плотности, построены спектрограммы наработанной пряжи. В табл. 3 представлены полученные средние характеристики спектрограмм.

Т а б л и ц а 3

Концентрация раствора	Коэффициент вариации CV, %	Общая дисперсия, CV ²	Дисперсия 12...400 мм
Контрольный образец			
-	30,59	935,89	890,48
ПВА			
6%	31,56	996,03	898,22
5%	33,75	1139,06	902,69
3%	31,49	991,62	897,4
1%	30,37	922,33	893,2
Серицин			
6%	30,07	904,2	880,6
5%	31,18	972,19	873,3
3%	30,3	918,09	870,2
2%	30,7	942,49	890,27
ПВС			
3%	46,64	2175,45	2038,73
2%	41,95	1759,9	1673,36
1,50%	41,43	1716,54	1645,08
1%	40,79	1663,77	1583,35
Крахмал			
3%	43,86	1923,87	1805,81
2%	43,34	1878	1782,62
1,50%	41,95	1759,89	1584,46
1%	40,35	1548,36	1508,75

Характеристики спектрограмм (коэффициент вариации, общая дисперсия, дисперсия 12...400 мм) выше у образцов льняной пряжи, полученной с применением пропитки растворами ПВС и крахмала. Это свидетельствует о большей неровноте готового продукта. Показатели качества, полученные на КЛА-М, лучше у пряжи, выработанной с применением растворов ПВА и серицина.

Заметим, что в сравнении с контрольным образцом пропитка ровницы клеевым раствором привела к увеличению общего количества пороков. Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что с ростом концентрации клеящего вещества, используемого для пропитки ровницы, возрастает среднее количество пороков. При использовании ПВС наблюдаемое количество дефектов выше, чем при использовании других видов

клеящего вещества. Пропитка ровницы растворами ПВА и серицина привела к увеличению среднего количества пороков примерно на 10...34%, в зависимости от концентрации. Применение крахмала увеличило долю пороков на 20...60%. При использовании ПВС это показатель вырос почти в 2 раза по сравнению с контрольным образцом. Наличие пороков может привести к росту обрывности в ткачестве и влияет на внешний вид и качество готовой продукции.

ВЫВОДЫ

1. Анализ и сравнение физико-механических свойств образцов наработанной пряжи позволяет сделать вывод о положительном результате применения клеевых способов производства пряжи с целью упрочнения готового продукта.

2. Применение растворов ПВА, ПВС и крахмала приводит к повышению показателей прочности получаемой пряжи, однако при этом наблюдается увеличение пороков внешнего вида и неровноты пряжи.

3. Использование в качестве пропитки раствора серицина дает такие преимущества, как упрочнение пряжи без ухудшения внешнего вида и физико-механических показателей, а также экологичность получаемого продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прядение льна и химических волокон: Справочник / Под ред. Л.Б. Карякина и Л.Н. Гинзбурга. – М.: Легпромбытиздат. 1991.

2. *Телицын А.А.* Развитие технологий процесса самокручения текстильных материалов и создание оборудования для их реализации: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, 2000.

3. *Палочкин С.В.* Разработка технологии формирования и переработки некрученой обвитой льняной ровницы: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2002.

4. *Смирнова С.Г.* Влияние технологических режимов формирования бескруточной ровницы на ее способность к переработке в прядении: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2010.

5. *Кузнецова Н.С.* Развитие высокопроизводительной технологии получения льняной пряжи мокрого прядения для трикотажного производства: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, 2019.

6. *Рудовский П.Н., Белова И.С.* Анализ и перспективы клеевых способов формирования пряжи

// Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2019, № 1-1. С. 186...189.

7. *Рудовский П.Н., Белова И.С.* Технология получения льняной пряжи путем совмещения вьюркового способа со способом PAVENA // В сб.: Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование Междунар. научн.-техн. симпозиума "Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина" на Международном Косыгинском Форуме-2019 "Современные задачи инженерных наук". – М., 2019. С. 194...196.

8. *Ишматов А.Б., Рудовский П.Н., Яминова З.А.* Применение серицина для шлихтования основ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 6. С. 98...102.

9. *Ишматов А.Б., Яминова З.А., Рудовский П.Н.* Обоснование режимов получения серицина в виде порошка для приготовления шлихты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 79...83.

10. *Рудовский П.Н., Белова И.С.* Выбор клеящего состава для выработки пряжи клеевым способом // Технологии и качество. – 2021, №4 (54). С.43...46.

11. *Кириллова Е.С., Рудовский П.Н., Соркин А.П.* Влияние срока хранения увлажненной бескруточной ровницы на ее качество // Вестник Костромского го. технолог. ун-та. – 2006, № 13. С. 14...15.

REFERENCES

1. Spinning flax and chemical fibers: Handbook / Edited by L.B. Karyakin and L.N. Ginzburg. – M.: Legprombytizdat. 1991.

2. *Telitsyn A.A.* Development of technologies for the process of self-twisting textile materials and the creation of equipment for their implementation: Dis. ... doct. technical sciences. – Kostroma, 2000.

3. *Palochkin S.V.* Development of technology for the formation and processing of untwisted wrapped linen roving: Dis. ... doct. technical sciences. – M., 2002.

4. *Smirnova S.G.* The influence of technological modes of forming a spinless roving on its ability to process in spinning: Dis. ... candidate of Technical Sciences. – Kostroma, 2010.

5. *Kuznetsova N.S.* Development of high-performance technology for producing wet-spinning flax yarn for knitting production: Dis. ... doct. technical sciences. – Kostroma, 2019.

6. *Rudovsky P.N., Belova I.S.* Analysis and prospects of adhesive methods of yarn formation // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX). – 2019, №1-1. P. 186...189.

7. *Rudovsky P.N., Belova I.S.* Technology of producing flax yarn by combining the reel method with the PAVENA method. In the collection: Energy-efficient environmentally friendly technologies and equipment. collection of scientific papers of the International Scien-

tific and Technical Symposium "The second International Kosygin Readings dedicated to the 100th anniversary of the Kosygin Russian State University" at the International Kosygin Forum-2019 "Modern problems of Engineering Sciences". – М., 2019. P. 194...196.

8. Ishmatov A.B., Rudovsky P.N., Yaminova Z.A. The use of sericin for dressing the bases // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 6. P. 98...102.

9. Ishmatov A.B., Yaminova Z.A., Rudovsky P.N. Justification of the modes of obtaining sericin in the form of powder for the preparation of dressing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 6. P. 79...83.

10. Rudovsky P.N., Belova I.S. The choice of an adhesive composition for the production of yarn by the adhesive method // Technologies and quality. – 2021, №4 (54). P. 43...46.

11. Kirillova E.S., Rudovsky P.N., Sorkin A.P. The effect of the shelf life of moistened spineless roving on its quality // Bulletin of Kostroma State Technological University. – 2006, № 13. P. 14...15.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин КГУ. Поступила 15.08.22.

УДК 677.014-615.468

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_96

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОДИНОЧНОЙ И КРУЧЕНОЙ ПРЯЖИ С СОДЕРЖАНИЕМ ЛЬНОВОЛОКОН*

INNOVATIVE DEVELOPMENTS IN THE THEORY AND TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF SINGLE AND TWISTED YARN CONTAINING FLAX FIBERS

*С.А. РОДИОНОВ, А.Г. ХОСРОВЯН, А.А. ЖУКОВА,
И.Г. ХОСРОВЯН, Р.Р. АЛЕШИН, Г.А. ХОСРОВЯН*

*S.A. RODIONOV, A.G. KHOSROVYAN, A.A. ZHUKOVA,
I.G. KHOSROVYAN, R.R. ALESHIN, G.A. KHOSROVYAN*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: khosrovyan_haik@mail.ru

Описан разработанный технологический процесс получения одиночных льняных волокон на основе использования разработанного способа рассортировки волокон, их распределения и транспортировки и оборудования для его осуществления, а также последующего получения хлопкольнай пряжи. Разработаны математическая модель для расчета процесса движения сорных примесей в зоне соровыделения при дискретизации, а также математическая модель процесса улавливания сорных частиц при дискретизации в разработанных узлах дискретизации. Выполнено математическое моделирование процесса очистки воздушных потоков от мелкодисперсной пыли в спиральных каналах, а также представлена оценка влияния формы спирально-видного канала на центробежные силы, действующие на мелкодисперсные пылевые частицы. Разработана математическая модель для расчета потерь крутки пряжи на фрикционной поверхности пряжевыводной воронки

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Департамента экономического развития и торговли Ивановской обл., проект № 20-43-370010.

пневмомеханических прядильных машин в течение периода вращения прядильного ротора. Описан разработанный технологический процесс получения крученой хлопкольнай пряжи.

The developed technological process of obtaining single flax fibers based on the use of the developed method of sorting fibers, their distribution and transportation and equipment for its implementation, as well as the subsequent production of cotton yarn, is described. A mathematical model has been developed for calculating the process of movement of impurities in the area of co-emission during sampling, as well as a mathematical model of the process of capturing weed particles during sampling in the developed sampling nodes. Mathematical modeling of the process of cleaning air flows from fine dust in spiral channels is performed, and an assessment of the influence of the spiral channel shape on the centrifugal forces acting on fine dust particles is also presented. A mathematical model has been developed to calculate the yarn spinning losses on the friction surface of the yarn funnel of pneumatic-mechanical spinning machines during the spinning rotor rotation period. The developed technological process of obtaining twisted cotton yarn is described.

Ключевые слова: рассортировка волокон, хлопкольнай пряжа, узел дискретизации, очистка, обеспыливание, потери крутки, крученая пряжа.

Keywords: fiber sorting, cotton yarn, sampling node, cleaning, dedusting, twist loss, twisted yarn.

В настоящее время в стране возникла необходимость коренным образом пересмотреть взгляды на организацию хозяйственной деятельности в льноводстве с целью увеличения объемов производства и повышения качества льна, а также подготовки льняных волокон к использованию в производстве текстильной продукции.

Как известно, для производства пряжи, в последующем ткани, трикотажа используются длинные льняные волокна, которые составляют 25...35% общего объема волокнистой массы. Остальное 65...75% составляют короткие волокна (отходы). Поэтому актуальным становится обеспечение возможности максимального использования коротких волокон (отходов) для получения смесовой пряжи.

Первым шагом решения проблемы обеспечения возможности использования коротких волокон (отходов) является котонизация, т.е. получение льняных волокон, приближенных по длине и линейной плотности к хлопку, с целью получения хлопкольнай пряжи. Однако льняное котонизированное волокно, поступающее для смешивания с хлопком, содержит как от-

дельные элементарные, так и комплексы волокон.

Существующие в настоящее время технологии и оборудование для разрыхления льняной волокнистой массы (расщепления комплексов волокон) основаны на увеличении количества и степени механического воздействия рабочих органов на волокнистую массу, при этом происходит не только расщепление комплексов льняных волокон, но и уменьшение длины элементарных волокон с одновременным ростом доли коротких волокон в смеси.

Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют технология и оборудование для обеспечения максимального расщепления комплексов волокон на отдельные элементарные льняные волокна без ухудшения их качества.

Целью работы являлась разработка технологии максимального расщепления комплексов волокон на отдельные элементарные волокна без ухудшения их качества с последующим совершенствованием технологии получения одиночной пряжи и разработкой технологии получения крученой пряжи.

Разработка технологического процесса получения отдельных элементарных льняных волокон выполнена на основе совершенствования этапа подготовки полуфабриката и получения смесовой пряжи, содержащей льняные волокна.

Совершенствование этапа подготовки полуфабриката с содержанием льняных волокон заключается в использовании в технологической линии модернизированного оборудования для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки [1], которое обеспечивает выделение из волокнистой смеси одиночных льняных волокон и комплексов волокон. Модернизация заключается в усилении зоны питания за счет

установки в ней колкового, игольчатого, пильчатого барабанов и барабана с цельнометаллической лентой. Такая модернизация зоны питания позволяет максимально снизить количество сорных примесей в смеси и количество комплексов волокон.

Одиночные волокна в распределительной камере направляются для получения холстов с дальнейшим изготовлением смесовой пряжи, а комплексы волокон направляются на повторное разрыхление. На рис. 1 представлена схема разработанной технологической линии получения одиночных льняных волокон с последующим получением хлопкольняной пряжи.



Рис. 1

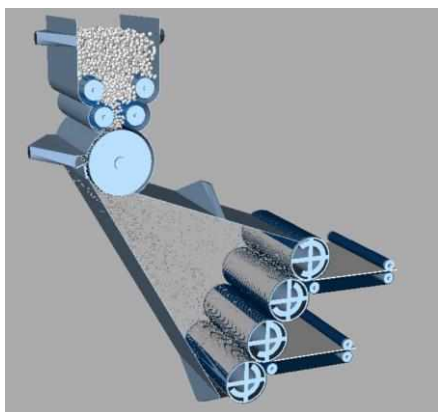


Рис. 2

На разработанном оборудовании для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки, установленном в технологической линии, осуществляется но-

вый способ рассортировки волокон, их распределения и транспортировки (рис. 2 – схема оборудования для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки). Последний заключается в направленном перемещении под воздействием воздушных потоков волокнистого потока и разделении последнего на фракции по зонам формирования слоев в распределительной камере, в которой создаются внутренние воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев с разделением их на составляющие, а также в зону сороудаления и в зону обеспыливания (рис. 3 – схема нового способа рассортировки волокон, их распределения и транспортировки).

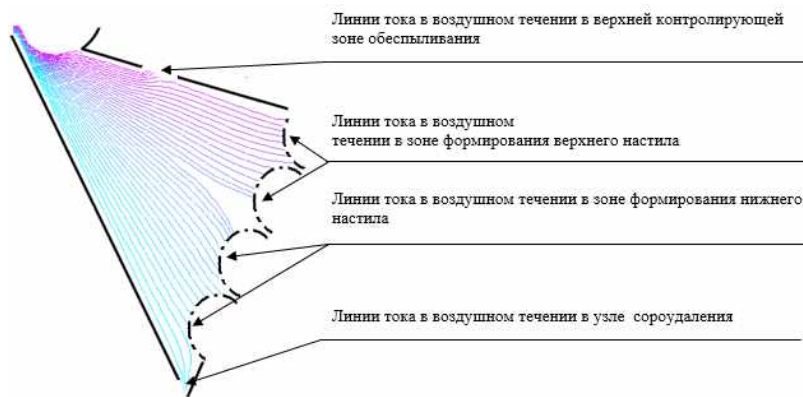


Рис. 3

Волокна, имеющие малую скорость витания, будут увлекаться воздушными потоками к верхней паре сетчатых барабанов, а волокна, имеющие большую скорость витания, – к нижней. Так как скорость витания волокна прямо пропорциональна квадратному корню от его массы и обратно пропорциональна квадратному корню от его длины, то на поверхности верхней пары сетчатых барабанов будут оседать более длинные и тонкие одиночные волокна, а на поверхности нижней – короткие и толстые, а также комплексы волокон.

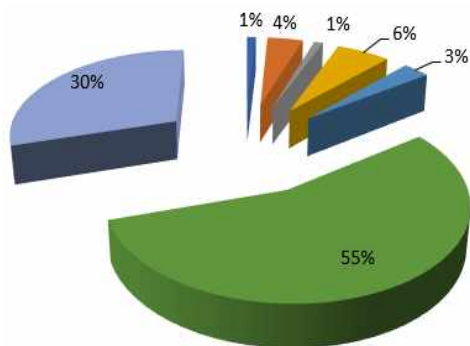


Рис. 4

На рис. 4 (диаграмма распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования настилов и удаления отходов в оборудовании для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки: ■1% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны перфорации на стенках бункера; ■4% - сорные примеси, костра и грубые волокна, удаляемые из зоны сороотбойного ножа; ■1% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из верхней

контролирующей зоны перфорации; ■6% - сорные примеси, костра и частично грубые волокна, удаляемые узлом сороудаления; ■3% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны сетчатых барабанов; ■55,25% - одиночные волокна, составляющие верхний слой; ■29,75% - комплексы волокон, составляющие нижний слой) представлены результаты распределения волокон по верхней и нижней парам сетчатых барабанов оборудования для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки. Распределение волокон и комплексов волокон происходит в результате перераспределения волокон по воздушным потокам, исходя из скорости витания волокон.

Увеличение и уменьшение зоны сбора волокон на поверхности сетчатых барабанов обеспечивает соответственно увеличение и уменьшение количества волокон, осаждаемых на поверхностях сетчатых барабанов, а следовательно, увеличение и уменьшение толщины слоев волокнистого материала, формируемых на транспортерах. Как следует из диаграммы на рис. 3, одиночные волокна, образующие верхний слой, составляют – 55,25%, комплексы волокон, образующие нижний слой, – 29,75%, частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны сетчатых барабанов – 3%.

В нижнем углу камеры распределения волокон установлен узел сороудаления в виде щели с трубопроводом, подключенным к пневмоотсосу, через который происходит удаление сорных примесей, костры и частично грубых волокон, кроме того их удаление происходит также в зоне сороот-

бойного ножа. Дополнительное обеспыливание происходит в зоне перфорации на стенках бункера и в верхней контролирующей зоне перфорации.

Экспериментальные исследования показали, что в верхнем настиле находятся в основном одиночные волокна длиной от 25...50 мм, в нижнем настиле – в основном комплексы волокон длиной от 25...35 мм. Линейная плотность одиночных волокон в верхнем настиле составляет 1,8...2,0 текс, а линейная плотность в нижнем настиле – 2,0...3,2 текс. Таким образом, верхний настил образуют более тонкие, одиночные волокна, которые могут быть использованы для получения хлопкольнай пряжи, а нижний настил – комплексы волокон, которые направляются на повторное разрыхление.

Далее выполнено математическое моделирование аэродинамического съема волокон и аэродинамической рассортировки волокон в оборудовании для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки [2], [3].

В результате теоретического исследования разработана математическая модель, которая устанавливает взаимосвязь между физико-механическими характеристиками комплексов волокон, а также геометрическими и скоростными параметрами оборудования для рассортировки волокон, их распределения и транспортирования, и является базой для оптимизации параметров разрабатываемых узлов аэродинамического съема комплексов волокон.

Также в процессе теоретического исследования рассмотрено аэродинамическое поле в камере рассортировки волокнистой смеси на фракции. Приведены геометрические модели областей камеры, которые находятся в условиях действия отрицательного градиента давления, где применимы методы теории потенциальных плоских течений. Составлено конформное отображение этих областей на полуплоскость и выведен комплексный потенциал.

Дальнейшее совершенствование оборудования для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки заключалось в:

- подборе таких геометрических размеров камеры, использование которых способно исключить существование воздушных вихрей в камере, что позволяет стабилизировать процесс рассортировки волокон;

- определении благоприятных аэродинамических условий для вывода в зону влияния сетчатых барабанов уже разделенных на фракции волокнистых потоков;

- оптимальном размещении аспирационных устройств для осуществления сбора пыли и сорных частиц и перемещения их в зону утилизации.

Полученный на оборудовании для рассортировки волокон, их распределения и транспортировки верхний слой, состоящий из одиночных льняных волокон, направлялся на смеситель непрерывного действия, а далее на разрыхлительно-очистительный агрегат для смешивания с хлопковым волокном (рис.1).

Для получения качественной хлопкольнай пряжи большое значение имеют процессы подготовки волокнистой массы и полуфабриката к прядению, в том числе процессы, протекающие на разрыхлителях-очистителях. Для улучшения процессов подготовки хлопкольнай смеси были разработаны однобарабанный и двухбарабанный, колковые и пильчатые разрыхлители-очистители, а также модернизированы основные узлы для получения полуфабрикатов в технологической линии переработки льняных котонизированных волокон [4...7].

Наибольшие проблемы при изготовлении хлопкольнай пряжи возникают не столько на этапе получения полуфабриката, сколько на этапе получения пряжи.

На кольцепрядильных машинах комплексы льняных волокон и костра, содержащиеся в мычке, выходящей из вытяжного прибора, являются причиной обрывности пряжи в зоне бегунка. Толстые, жесткие на изгиб и кручение волокна льна при кольцевом способе прядения плохо запрядаются в тело пряжи и увеличивают ее ворсистость, что может вызывать кожные аллергические реакции.

Хлопкольная пряжа, двигаясь от вытяжного прибора до места формирования початка, испытывает натяжение разной величины. Известно, что максимальное натяжение хлопкольная пряжа испытывает между бегунком и початком. Несмотря на то, что в точке соприкосновения хлопкольной пряжи с початком натяжение больше, чем в точке соприкосновения с бегунком, в основном обрывность возникает при соприкосновении с бегунком.

Производственные исследования показали, что причиной обрывности является наличие в хлопкольной пряже сорных примесей и костры. Поэтому производство хлопкольной пряжи кольцевым способом прядения при использовании существующего оборудования на этапах подготовки полуфабриката и получения хлопкольной пряжи нецелесообразно.

На наш взгляд, несмотря на большую обрывность на пневмомеханических прядильных машинах, целесообразным является использование пневмомеханического способа получения хлопкольной пряжи при условии модернизации узла дискретизации, обеспечивающей дополнительную очистку и обеспыливание.

Как известно, современные разработки пневмомеханических прядильных машин основаны на новых подходах к процессам формирования, транспортировки и наматывания и связаны с изменениями конструкции роторов и их вращения, а также с обеспечением транспортировки пряжи и наматывания при больших скоростях. Однако узел дискретизации остался неизменным как по конструкции, так и по скоростным параметрам.

Для обеспечения получения хлопкольной пряжи на пневмомеханических прядильных машинах были разработаны узлы дискретизации. Особенностью разработанных узлов дискретизации является интенсификация процесса удаления сорных примесей, целенаправленный отсос сорных примесей из зоны дискретизации, особенно микропыли, улучшение внешнего вида и физико-механических показателей пряжи [8...11].

Разработанный узел дискретизации содержит дискретизирующий барабанчик, выполненный из обтянутой гарнитурой обечайки, внутри которой находится неподвижный цилиндр. Вдоль образующей цилиндра выполнена обращенная к питающему цилиндру полость. На поверхности обечайки вдоль образующей выполнены щели. Ширина щели составляет 1...1,5 мм. Через конфузторный канал, соединенный с сороотводящей трубой пневмоотсоса, происходит отсос и удаления сорных примесей и пыли из зоны дискретизации [8].

Выполнены теоретические исследования процесса улавливания сорных частиц при дискретизации полуфабриката в разработанном узле.

Для сорной частицы массой m_c второй закон Ньютона записывается:

$$m_c(\vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_{кор}) = \vec{F}_a,$$

где \vec{F}_a – аэродинамическая сила, действующая на сорную частицу массой m_c со стороны воздушного потока со скоростью $\vec{V}_{от}$; \vec{a}_e – переносное ускорение; \vec{a}_r – относительное ускорение; $\vec{a}_{кор}$ – кориолисово ускорение.

Величина аэродинамической силы определяется по формуле:

$$\vec{F}_a = m_c g V_{отн} (\vec{V}_{от} - \vec{V}_k) / V_{вит}^2,$$

где $V_{от}$ – скорость воздушного потока, направленная под углом $\pi - \beta$ к радиальному направлению (рис. 5); $V_{отн}$ – модуль вектора скорости частицы относительно воздушного потока;

$$\vec{V}_k = (u_k, v_k);$$

$$V_{отн} = ((-V_{от} \cos \beta - u_k)^2 + (V_{от} \sin \beta - v_k)^2)^{0,5};$$

u_k, v_k – проекции скорости сорной частицы на оси полярной системы координат с центром на оси барабанчика; $V_{вит}$ – скорость витания сорной частицы.

Спроецируем векторное соотношение величины аэродинамической силы на направление S вектора \vec{V}_a :

$$(\vec{F}_a)_s = m_c g V_{\text{ВИТ}}^{-2} V_{\text{ОТН}} (\vec{V}_a - \vec{V}_k)_s .$$

Исходя из соотношения величины аэро-

$$m_c g V_{\text{ВИТ}}^{-2} V_{\text{ОТН}} (V_a + u_k \cos \beta - v_k \sin \beta) = m_c (\vec{a}_r)_s - m_c h_1 (\dot{i})_s + m_c h_2 (\dot{j})_s ,$$

где $h_1 = -\omega^2 R_k - 2\omega v_{k\delta}$; $h_2 = 2\omega u_{k\delta}$; $u_{k\delta} = u_k$; $v_{k\delta} = v_k - V_\delta$; ω – угловая скорость вращения барабанчика; V_δ – окружная скорость барабанчика; R_k – радиус барабанчика.

Зная что

$$(\vec{V}_a - \vec{V}_k)_s = V_a + u_k \cos \beta - v_k \sin \beta ,$$

$$m_c g V_{\text{ВИТ}}^{-2} V_{\text{ОТН}} (V_a + u_k \cos \beta - v_k \sin \beta) = m_c (\vec{a}_r)_s - m_c h_1 \cos \beta + m_c h_2 \sin \beta .$$

Поделив правую и левую части уравне-

$$g V_{\text{ВИТ}}^{-2} V_{\text{ОТН}} (V_a + u_k \cos \beta - v_k \sin \beta) = (\vec{a}_r)_s - h_1 \cos \beta + h_2 \sin \beta .$$

Для определения аэродинамической

$$g V_{\text{ВИТ}}^{-2} V_{\text{ОТН}} (V_a + u_k \cos \beta - v_k \sin \beta) + h_1 \cos \beta - h_2 \sin \beta = 0 .$$

При этом величина проекции ускорения на ось S должна быть равна нулю, это является условием захвата сорной частицы всасывающим факелом.

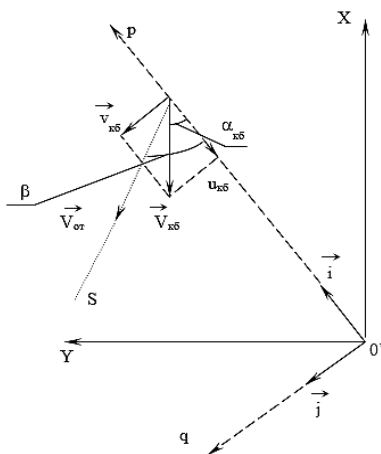


Рис. 5

динамической силы, находим:

$$m_c (\vec{a})_s = m_c (\vec{a}_r)_s + m_c h_1 (\dot{i})_s + m_c h_2 (\dot{j})_s .$$

Так как

$$m_c (\vec{a})_s = (\vec{F}_a)_s ,$$

то

$$(\dot{i})_s = -\cos \beta , \quad (\dot{j})_s = -\sin \beta ,$$

получаем уравнение, которое связывает основные характеристики процесса удаления сорных частиц через канал:

ния на m_c , получим

силы V_a используем соотношение:

На рис. 5 показаны проекции вектора относительной скорости частицы на оси системы координат $O'pq$, связанной с вращающимся барабаном.

Для дополнительного обеспыливания волокон и снижения выпадения пряжковых волокон в отходы в зоне дискретизации и уменьшения остаточного слоя на дискретизирующем барабанчике в зоне транспортирования последним внутри дискретизирующего барабанчика создается внутренний воздушный поток [9], который направляют по дугообразной траектории через изогнутый к центру дискретизирующего барабанчика и сужающийся в направлении к транспортирующему каналу дугообразный коридор, при этом в зоне съема воздушный поток разделяют на две составляющие, одну из которых направляют радиально транс-

портирующему каналу, а другую – в зону сорыва деления.

Выполнено математическое моделирование процесса очистки воздушных потоков от мелкодисперсной пыли в спиральных каналах.

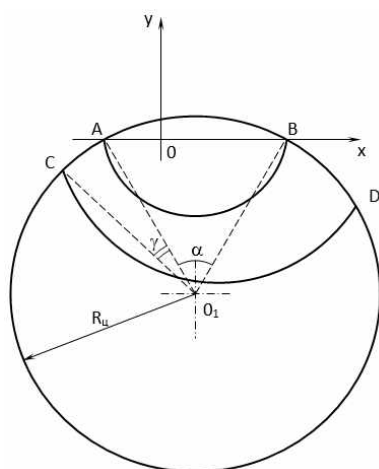


Рис. 6

Обозначили центр расчесывающего барабанчика через O_6 , а через $R_{ц}$ – радиус неподвижного цилиндра (рис. 6 – технологическая схема неподвижного цилиндра). Начальный участок спирального канала определяют точки B и D, а точки A и C – конечный участок. Линия спирали AB определяет внутреннюю сторону канала, линия спирали CD – внешнюю. Соединим точки A и B хордой, по которой проведем ось Oх системы координат Oху. Спираль Архимеда задана формулой:

$$\rho = a \varphi.$$

Отметим, что отсюда при $\pi \leq \varphi \leq 2\pi$ имеем:

$$\begin{aligned} |OA| &= a\pi; \\ |OB| &= 2a\pi. \end{aligned}$$

или

$$|OA|/|OB| = 0,5.$$

Обозначим через $\rho_{вн}$ – радиус, который вычерчивает внутреннюю стенку канала (линия AB), согласно формуле, описывающей спираль Архимеда при $\pi \leq \varphi \leq 2\pi$.

$$\rho_{вн} = a_{вн} \varphi,$$

где $a_{вн}$ – константа.

Очевидно, что

$$\begin{aligned} |OA| &= a_{вн}\pi, \\ |OB| &= 2a_{вн}\pi, \\ |AB| &= |OA| + |OB| = 3a_{вн}\pi. \end{aligned}$$

С другой стороны, из треугольника OAB имеем, что

$$|AB| = 2R_{ц} \sin(0,5\alpha),$$

где α – центральный угол, на который опирается хорда AB.

Приравняв выражения

$$\begin{aligned} 3a_{вн}\pi &= 2R_{ц} \sin(0,5\alpha), \\ \text{или} \\ a_{вн} &= [2R_{ц}\sin(0,5\alpha)]/(3\pi). \end{aligned}$$

Следовательно:

$$|OA| = a_{вн}\pi = [2R_{ц}\sin(0,5\alpha)]/3.$$

Положим, что контур внешней стенки изменяется также по закону спирали Архимеда:

$$\rho_{нар} = a_{нар} \varphi.$$

Пусть точки A и C определяют пересечение внешней стенки канала с окружностью, образующей неподвижный цилиндр. Хорда AC опирается на угол COA, величину которого обозначим через γ . Длина хорды AC:

$$|AC| = 2R_{ц} \sin(0,5\gamma).$$

Запишем следующее соотношение:

$$\angle CAO = \angle CAO_6 + \angle O_6AB.$$

Из геометрических построений на рисунке следует, что

$$\begin{aligned} \angle CAO_6 &= 0,5(\pi - \gamma); \\ \angle O_6AB &= 0,5(\pi - \alpha). \end{aligned}$$

Пусть

$$\gamma_1 = \angle CAO,$$

тогда можно записать, что

$$\gamma_1 = \pi - 0,5(\alpha + \gamma).$$

Из треугольника OAC по теореме косинусов имеем, что

$$|CO| = \{|AC|^2 + |OA|^2 - 2|AC||OA|\cos(\gamma_1)\}^{0,5}.$$

Так как

$$\cos(\gamma_1) = \cos[\pi - 0,5(\alpha + \gamma)] = -\cos[0,5(\alpha + \gamma)],$$

то

$$|CO| = \{|AC|^2 + |OA|^2 + 2|AC||OA|\cos[0,5(\alpha + \gamma)]\}^{0,5}.$$

Обозначим

$$\gamma_2 = \angle COA.$$

По теореме синусов

$$|CO|/\sin(\gamma_1) = |AC|\sin(\gamma_2),$$

или

$$\sin(\gamma_2) = \sin(\gamma_1)|AC|/|CO|.$$

Так как

$$\sin(\gamma_1) = \sin[\pi - 0,5(\alpha + \gamma)] = \sin[0,5(\alpha + \gamma)].$$

то

$$\sin(\gamma_2) = \sin[0,5(\alpha + \gamma)]|AC|/|CO|.$$

$$S_1 \approx [\rho_{нар}(2\pi) - \rho_{вн}(2\pi)]h_б = (a_{нар} 2\pi - a_{вн} 2\pi) h_б = 2\pi (a_{нар} - a_{вн}) h_б ;$$

$$S_2 \approx [\rho_{нар}(\pi + \gamma_2) - \rho_{вн}(\pi + \gamma_2)]h_б = \\ = (a_{нар} (\pi + \gamma_2) - a_{вн} (\pi + \gamma_2))h_б = (\pi + \gamma_2)(a_{нар} - a_{вн}) h_б ,$$

где $h_б$ – высота дискретизирующего барабанчика.

Скорости воздуха в канале на его входе и выходе равны соответственно:

$$v_1 = L_{ск} / S_1 = L_{ск} / [2\pi (a_{нар} - a_{вн}) h_б] ; \\ v_2 = L_{ск} / S_2 = L_{ск} / [(\pi + \gamma_2) (a_{нар} - a_{вн}) h_б] .$$

Центробежная сила, действующая на частицу, в канале направляет частицу к наружной стенке, тем самым осуществляется обеспыливание потока. Обозначили через m_c массу частицы. Центробежные си-

Следовательно,

$$(\gamma_2) = \arcsin[0,5(\alpha + \gamma)]|AC|/|CO|.$$

Для кривой CD в точке $\varphi = \pi + \gamma_2$ имеем:

$$\rho_{нар}(\pi + \gamma_2) = |CO|.$$

Следовательно,

$$a_{нар} = |CO|/(\pi + \gamma_2).$$

Срединную ("центральную") линию канала задает формула:

$$\rho_{ср}(\varphi) = 0,5(a_{нар} + a_{вн})\varphi.$$

Для оценки центробежных сил, действующих на мелкодисперсные пылевые частицы, было выполнено математическое моделирование процесса очистки воздушных потоков от мелкодисперсной пыли в спиральных каналах и выполнена оценка влияния формы спиралевидного канала на центробежные силы, действующие на мелкодисперсные пылевые частицы.

Обозначили через S_1 и S_2 площади поперечных сечений канала на его входе и выходе, а через $L_{ск}$ – расход воздуха в этом канале. Приближенно для величин S_1 и S_2 допустимы следующие зависимости:

лы, действующие на частицу на входе и на выходе из канала соответственно равны:

$$F_1 = m_c v_1^2 / \rho_{ср}(2\pi) ; \\ F_2 = m_c v_2^2 / \rho_{ср}(\pi + \gamma_2).$$

Ввели в качестве показателя обеспыливающей способности устройства, величину, равную отношению центробежных сил, действующих на частицу на выходе и входе:

$$F_2/F_1 = (v_1/v_2)^2 [\rho_{ср}(2\pi) / \rho_{ср}(\pi + \gamma_2)].$$

Имеем:

$$(v_1 / v_2) = [2\pi (a_{нар} - a_{вн}) h_6] / [(\pi + \gamma_2) (a_{нар} - a_{вн}) h_6] = 2\pi (\pi + \gamma_2) ;$$

$$\rho_{ср}(2\pi) / \rho_{ср}(\pi + \gamma_2) = [0,5(a_{нар} + a_{вн}) (2\pi)] / [0,5(a_{нар} + a_{вн}) (\pi + \gamma_2)] =$$

$$= 2\pi (\pi + \gamma_2) .$$

Подставляя в формулу полученные выражения, имеем:

$$F_2 / F_1 = [2\pi (\pi + \gamma_2)]^3 .$$

$$(F_2 - F_1) / F_1 .$$

Полученная формула позволяет оценить, насколько спиральная форма канала и его сужения влияют на продвижение частиц к наружной стенке канала.

Модернизированные узлы дискретизации позволили получить хлопкольняную пряжу пневмомеханическим способом прядения.

В процессе формирования пряжи происходит потеря крутки на фрикционной поверхности воронки. При производстве хлопкольняной пряжи линейной плотности от 21 до 62 текс с содержанием льноволокна 25...30% при частоте вращения камер

70000...80000 мин¹ потери крутки составляют 10...15%.

Крутка пряжи на входе на поверхность воронки зависит от расположения точки входа нити на поверхность воронки. Аналитическая зависимость для определения крутки пряжи K_{max} в точке входа ее на поверхность воронки пряжевыводного устройства пневмомеханических прядильных машин в течение периода вращения прядильного ротора можно записать следующим образом:

$$K_{max} = \omega_k [a_k (1 - \exp(k\varphi_{охв})) + 1] / (2\pi V_{вып}) .$$

Номинальную крутку, получаемую пряжей на пневмомеханической прядильной машине, можно рассчитать по формуле

$$K_{НОМ} = \frac{n_k}{V_{вып}} .$$

Упрощая зависимость для определения

$$K = \omega \{ 1 - a_k [0,369 - 0,273 r_{п} (1 - \sin \varphi_{охв}) / (h_r - r_{ф})] \} / (2\pi V_{вып}) ,$$

где $a_k = \frac{\omega_k v_{вып} r_k^2 T e^{k\varphi_n} (r_n k_{п} + k_k) [1 + P_0 - (r_b / r_k)^2]}{2k(C - \gamma_n v_{вып}^2 J_k)}$;

$\omega_k = \pi n_k / 30$ – угловая скорость вращения ротора; n_k – частота вращения ротора; k – коэффициент трения; $v_{вып}$ – скорость выпуска пряжи; $k_{п}$ – нормальный коэффициент трения скольжения пряжи по воронке; T – линейная плотность пряжи; r_k – радиус прядильного ротора; φ_n – угол трения нормальных сил трения скольжения пряжи по воронке; $r_n = 1,785 \cdot 10^{-5} \sqrt{T / \gamma_n}$ – условный радиус; $\gamma_n = 1,5$ мг/мм³ – условная плотность пряжи; k_k – коэффициент трения ка-

крутки K_{max} , получаем:

чения стержня пряжи по поверхности воронки; $\varphi_{охв}$ – угол охвата пряжей фрикционной поверхности воронки; r_b – радиус воронки; $C = GJ_k$ – коэффициент жесткости кручения; G – модуль жесткости кручения нити; $J_k = J_p$ – осевой момент инерции площади поперечного сечения пряжи кручения относительно оси симметрии; J_p – полярный момент инерции площади поперечного сечения пряжи.

По формуле для определения крутки K составлена программа для вычисления потери крутки на поверхности пряжевыводной воронки в зависимости от линейной плотности пряжи, частоты вращения пря-

дильного ротора, скорости выпуска пряжи и параметров пряжевыходной воронки.

Особый интерес для производителей представляет возможность получения крученой хлопкольнай пряжи, так как

нет разработанной технологии, обеспечивающей ее получение. Разработка технологии получения крученой хлопкольнай пряжи позволит значительно расширить ассортимент выпускаемых тканей и трикотажа.

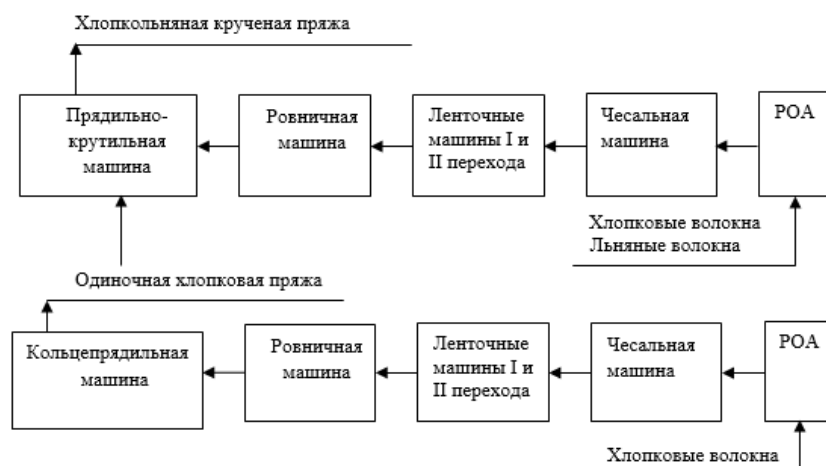


Рис. 7

Нами разработан технологический процесс получения хлопкольнай крученой пряжи (рис. 7), который характеризуется тем, что на этапе подготовки полуфабриката с содержанием льняных волокон использовались разработанные нами и описанные выше технологии и оборудование, обеспечивающие получение хлопкольнай ленты линейной плотности 4 ктекс, полученной со второго перехода (рис. 7). Данная лента направлялась к ровничной машине для получения хлопкольнай ровницы линейной плотности 500 текс. Затем полученная ровница поступала на прядильно-крутильную машину ПК-100М, где из хлопкольнай ровницы получали одну из стренг. Состав ровницы: 50% хлопка и 50% льна.

В качестве второй стренги использовали хлопчатобумажную пряжу линейной плотности 21 текс.

Таким образом, получили хлопкольнай крученую пряжу линейной плотности 21×2 текс. Состав хлопкольнай крученой пряжи: 25% льна и 75% хлопка.

Ввиду того, что процентное содержание льна в ровнице варьировалось от 40 до 70%, то происходило изменение содержания льна в хлопкольнай крученой пряже. Также варьировалась линейная плотность

ленты, ровницы, получаемой на прядильно-крутильной машине ПК-100М, стренги и хлопчатобумажной пряжи.

Полученная хлопкольнай крученая пряжа была использована в качестве основы и утка при производстве ткани для рабочей одежды.

Кроме того, полученная хлопкольнай крученая пряжа использовалась при производстве ткани костюмной, полотна простынного, ткани портьерной и парусины.

ВЫВОДЫ

1. Разработан технологический процесс получения одиночных льняных волокон на основе использования разработанного способа рассортировки волокон, их распределения и транспортировки и оборудования для его осуществления, а также технологический процесс получения хлопкольнай пряжи.

2. Разработана математическая модель для расчета процесса движения сорных примесей в зоне соровыделения при дискретизации, а также математическая модель процесса улавливания сорных частиц при дискретизации в разработанных узлах дискретизации.

3. Выполнены математическое моделирование процесса очистки воздушных потоков от мелкодисперсной пыли в спиральных каналах и оценка влияния формы спиралевидного канала на центробежные силы, действующие на мелкодисперсные пылевые частицы.

4. Представлена математическая модель для расчета потерь крутки пряжи на фрикционной поверхности пряжевыводной воронки пневмомеханических прядильных машин в течение периода вращения прядильного ротора.

5. Разработан технологический процесс получения крученой хлопкольнай пряжи, которая использовалась в качестве основы и утка для получения ткани различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2471897 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян, Т.В. Жегалина. – Оpubл. 10.01.2013.

2. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №6. С. 119...122.

3. Хосровян А.Г., Хосровян И.Г., Хосровян Г.А. Движение волокнистых комплексов в процессе их аэродинамического сьема в камере распределения // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. Часть 1, №3 (105). С. 84...88.

4. Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Математическое моделирование процесса очистки волокнистых материалов в разрыхлителе-очистителе // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. Часть 1, №4 (106). С. 86...92.

5. Хосровян Г.А., Красик Я.М. Общая теория процесса выделения сора из волокнистого продукта при обработке пыльчатой поверхностью // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, №5. С. 26...29.

6. Хосровян Г.А., Ситнов Ю.В., Красик Я.Н., Яницкая В.И. Математическое моделирование процесса движения сорных примесей в аспирационном устройстве узла для формирования полуфабриката // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, №3. С. 27...29.

7. Пат. 2361022 Российская Федерация. Разрыхлитель-очиститель с многоступенчатой очисткой / Хосровян Г.А. Хосровян А.Г. Кушаков О.Н.

Мкртумян А.С. Минеева Л.В. Жегалина Т.В. – Оpubл. 10.07.2009.

8. Пат. 2128737 Российская Федерация. Узел дискретизации пневмомеханической прядильной машины / Г.А. Хосровян, А.В. Аветисян, А.Г. Хосровян. – Оpubл. 04.10.1999 г.

9. Пат. 2220236 РФ Устройство для роторного пневмомеханического прядения / А.В. Саврасов, А.Г. Хосровян, Я.М. Красик, Г.А. Хосровян. от 02.09.2003г. – Оpubл. 27.12.2003г.

10. Пат. 2220237 Российская Федерация. Способ дискретизации волокнистого материала и устройство для его осуществления / А.В. Саврасов, А.Г. Хосровян, Я.М. Красик, Г.А. Хосровян. от 02.09.2003г.

11. Пат. 119344 Российская Федерация. Дискретизирующее устройство пневмомеханической прядильной машины / Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Хосровян И.Г. – Оpubл. 20.08.2012.

REFERENCES

1. Pat. 2471897 Russian Federation. A method for obtaining multilayer fibrous materials and a device for its implementation / G.A. Khosrovyan, A.G. Khosrovyan, T.Ya. Krasik, I.G. Khosrovyan, T.V. Zhegalina. – Published 01/10/2013.

2. Tuvin M.A., Khosrovyan I.G., Krasik T.Ya., Khosrovyan G.A. Mathematical modeling of aerodynamic sorting of fibers in a device for obtaining multilayer nonwoven materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, №6. P. 119...122.

3. Khosrovyan A.G., Khosrovyan I.G., Khosrovyan G.A. The movement of fibrous complexes in the process of their aerodynamic removal in the distribution chamber // International Scientific Research Journal. – 2021. Part 1, №3 (105). P. 84...88.

4. Khosrovyan A.G., Khosrovyan G.A. Mathematical modeling of the process of cleaning fibrous materials in a baking powder-cleaner // International Scientific Research Journal. – 2021. Part 1, №4 (106). P. 86...92.

5. Khosrovyan G.A., Krasik Ya.M. General theory of the process of litter extraction from a fibrous product during processing with a serrated surface // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1998, № 5. P.26...29.

6. Khosrovyan G.A., Sitnov Yu.V., Krasik Ya.N., Yanitskaya V.I. Mathematical modeling of the process of movement of weed impurities in the aspiration device of the unit for the formation of a semi-finished product // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1998, № 3. P. 27...29.

7. Pat. 2361022 Russian Federation. Baking powder-cleaner with multi-stage cleaning / Khosrovyan G.A. Khosrovyan A.G. Kushakov O.N. Mkrtyumyan A.S. Mineeva L.V. Zhegalina T.V. – Published. 07/10/2009.

8. Pat.2128737 Russian Federation. Discretization unit of a pneumomechanical spinning machine / G.A. Khosrovyan, A.V. Avetisyan, A.G. Khosrovyan. – Published. 04.10.1999

9. Pat. 2220236 RF Device for rotor pneumomechanical spinning / A.V. Savrasov, A.G. Khosrovyan, Ya.M. Krasik, G.A. Khosrovyan. dated 02.09.2003 – Published. December 27, 2003

10. Pat. 2220237 Russian Federation. A method for discretizing a fibrous material and a device for its implementation / A.V. Savrasov, A.G. Khosrovyan, Ya.M. Krasik, G.A. Khosrovyan. from 02.09.2003

11. Pat. 119344 Russian Federation. Discretizing device of pneumomechanical spinning machine / Krasik T.Ya., Khosrovyan G.A., Khosrovyan I.G. – Published. 08/20/2012.

Рекомендована кафедрой механики и радиоэлектроники. Поступила 16.08.22.

УДК 677.025.54

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_109

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ
ПЛЮШЕВОГО ТРИКОТАЖА
НА БАЗЕ ЖАККАРДОВОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ**

**ANALYSIS OF TEST RESULTS
OF KNITTED PLUSH ON THE BASIS OF JACQUARD BINDING**

*Г. МАХМУДОВА^{1,2}, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ^{3,4}, Г.А. РУЗМЕТОВА³,
Р.Д. АКБАРОВ³, К.М. ХОЛИКОВ⁵*

*G. MAKHMUDOVA^{1,2}, S.SH. TASHPULATOV^{3,4}, G.A. RUZMETOVA³,
R.D. AKBAROV³, K.M. KHOLIKOV⁵*

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,
Университет Дружбы народов имени академика А.Кватбекова, Республика Казахстан,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
Джизакский политехнический институт, Республика Узбекистан,
Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан)

(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
University of Friendship of Peoples after Academician A.Kuatbekov, Republic of Kazakhstan,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
Jizzakh of Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan,
Namangan Engineering and Technology Institute, Republic of Uzbekistan)

E-mail: maxmudova1974@mail.ru, ssht61@mail.ru

Исследования показывают, что трикотаж растягивается главным образом в результате изменений петельной структуры грунта. Поскольку она в плюшевом трикотаже такая же, как у глади, то растяжение плюшевого трикотажа имеет такие же особенности, что и переплетение гладь.

В связи с тем, что длина нити плюшевой петли значительно больше, чем грунтовой, величина растяжения определяется длиной нити грунтовой петли. В процессе растяжения плюшевого трикотажа по длине или ширине наступает момент, когда трикотаж начинает разрываться вследствие повышения нагрузки. Этот момент характеризуется разрывной нагрузкой, которая зависит от разрывного удлинения одиночной нити.

Studies show that knitwear stretches mainly as a result of changes in the loop ground structure. Since it is the same in plush knitwear as in smooth one, the stretching of plush knitwear has the same features as the weave of smooth.

Due to the fact that the length of the plush loop thread is much longer than the ground one, the amount of stretching is determined by the length of the ground loop

thread. In the process of stretching plush knitwear along the length or width, the moment when the knitwear begins to tear due to increased load comes. This moment is characterized by a breaking load, which depends on the breaking length of a single thread.

Keywords: knitwear, technology, strength, loop, ground thread, single, jacquard, patterned, competitive.

Ключевые слова: трикотаж, технология, прочность, петля, грунтовая нить, одинарный, жаккард, рисунчатый, конкурентоспособный.

Введение

В условиях современных производственно-экономических отношениях особое внимание уделяется разработке ресурсосберегающих технологий, которые при минимальных материальных затратах позволяют обеспечить производство конкурентоспособных изделий для разных отраслей промышленности. Все большее значение при этом приобретает производство материалов, используемых при изготовлении изделий, эксплуатируемых в условиях повышенных температур, которые кроме защитных должны обладать комплексом эргономических, потребительских и стоимостных показателей, что определяет конкурентоспособность материалов в условиях рынка [1]. Поэтому особую актуальность имеет создание технологии получения конкурентоспособных материалов с новыми свойствами для эксплуатации в условиях повышенных температур, что имеет большое технико-экономическое и социальное значение [2].

Легкая промышленность каждой страны является важнейшим многопрофильным и инновационно-привлекательным сектором экономики. Если обратить внимание на уровень потребления, то продукция легкой промышленности находится на втором месте, следом за продовольственными товарами, что несомненно свидетельствует о ее значимости [3]. Принимая во внимание существенную значимость предприятий легкой промышленности в обеспечении экономической и стратегической безопасности, а также занятости трудоспособного населения с соответствующим повышением жизненного уровня в но-

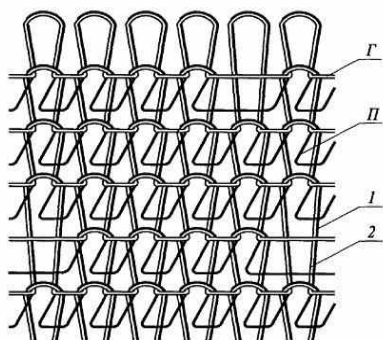
вейших геополитических условиях, ведущие мировые державы уделяют пристальное внимание развитию данной отрасли и осуществляют значительные финансовые вливания.

Трикотаж жаккардовых переплетений вырабатывают на базе главных, производных, одинарных и двойных, кулирных и основовязанных переплетений [4].

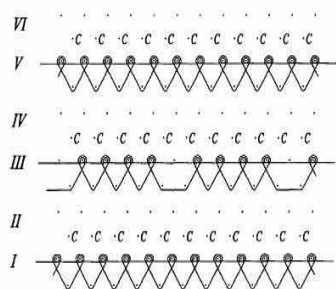
В жаккардовом переплетении рисунчатый эффект создается либо сочетанием петель, образованных из нитей разных цветов, либо неоднородностью петельной структуры за счет нерегулярного образования петель. В таких переплетениях петельные ряды образуются из нескольких нитей разных цветов либо неоднородностью петельной структуры за счет нерегулярного образования петель. В таких переплетениях петельные ряды образуются из нескольких нитей при условии выборочного образования петель каждой нитью по заданной программе. В качестве грунтовой нити использована полиэфирная пряжа 18,5текс x 1, а в качестве плюшевой нити использована ПАН31 текс x 2 пряжа [5].

Методы

Физико-механические показатели плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения показывают, что включение элементов жаккардового переплетения в структуру плюшевого трикотажа оказывает положительное влияние на его качественные показатели: увеличивает прочность, снижает воздухопроницаемость, усадку и растяжимость, т.е. увеличивает формоустойчивость трикотажа [6].



а)



б)

Рис.1

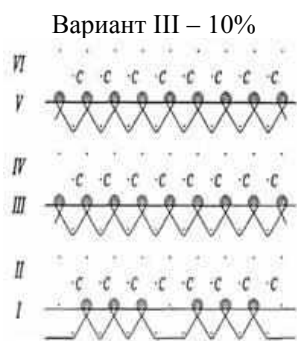
Разрывное удлинение плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения с увеличением количества жаккардовых петель в раппорте переплетения снижается, что говорит об увеличении формоустойчивости [7], [8].

На рис. 1-а показана структура и графическая запись плюшевого трикотажа варианта II с 8 % содержанием жаккардовых петель в раппорте переплетения.

Как видно из рис. 1-б, для образования одного раппорта переплетения на кругловязальной машине необходимо иметь шесть петлеобразующих систем.

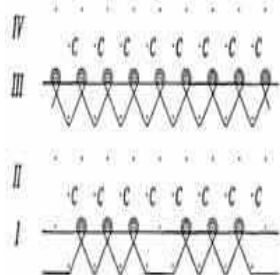
На рис. 1 показана структура и графическая запись плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения (вариант II-8%).

Графические записи остальных вариантов плюшевого трикотажа на базе жаккардовых переплетений с различным содержанием жаккардовых петель в раппорте переплетения показаны на рис. 2.

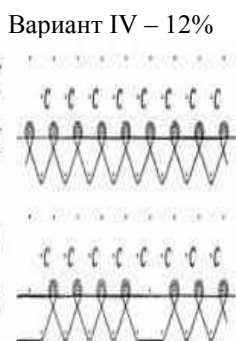


а)

Вариант VI – 18%

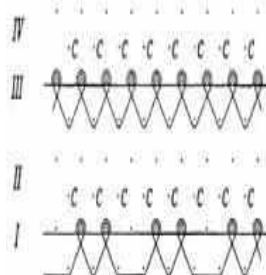


г)

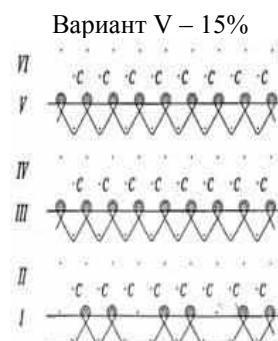


б)

Вариант VII – 20%

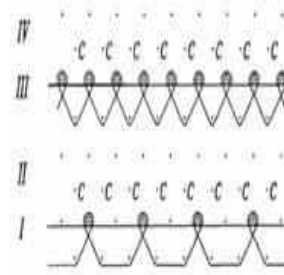


д)



в)

Вариант VIII – 32%



е)

Рис. 2

Результаты и обсуждения

Анализ результатов испытаний показывает, что, по сравнению с базовым переплетением, с увеличением количества жаккардовых петель в раппорте переплетения как по длине, так и по ширине увеличивается

разрывная нагрузка плюшевого трикотажа при включении в структуру элементов жаккардового переплетения. (табл. 1 – показатели физико-механических свойств плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения).

Таблица 1

Варианты плюшевого трикотажа	Содержание жаккардовых петель в раппорте, %	Разрывная нагрузка P_p, H		Разрывное удлинение $L, \%$		Воздухопроницаемость $V_p, \text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Усадка полотна $U, \%$		Обратимая деформация $E_o, \%$		Необратимая деформация $E_n, \%$	
		по длине	по ширине	по длине	по ширине		по длине	по ширине	по длине	по ширине		
I	0	186	98	148	180	540	3,2	2,4	82	80	18	20
II	7,14	224	104	141,7	178	520	2,76	1,6	84,2	87	15,6	13
III	9,09	232	106	139,5	177,4	503	2,54	1,4	87,3	88,4	12,7	11,6
IV	11,1	238	109	136	176	502	2,33	1,2	89,6	90,5	10,4	9,5
V	12,5	248	120	130	172	492	2,0	1,0	90,3	91,2	9,7	8,8
VI	14,2	252	124	126,1	168	486	1,77	0,77	92,4	92,3	7,6	7,7
VII	20	254	136	121,2	166	482	1,6	0,63	92,8	94,1	7,2	5,9
VIII	33,3	264	150	112	154	450	1,2	0,5	93,7	94,6	6,3	5,4

Так, разрывная нагрузка исследуемых образцов с увеличением жаккардовых петель в раппорте переплетения от 7,14 до 33,3% увеличивается от 224 до 264Н по длине и от 104 до 150Н по ширине, когда разрывная нагрузка базового образца составляет 186Н по длине и 98Н по ширине.

По сравнению с базовым образцом прочность по длине II варианта плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения увеличилась на 20,4%, III варианта – на 24,7%, IV варианта – на 27,9%, V варианта – на 79,6%, VI варианта – на 35,5%, VII варианта – на 36,5% и VIII варианта – на 41,9%.

По ширине прочность плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения по сравнению с базовым образцом увеличилась на 6,1% – для II варианта, на 8,2% – для III варианта, на 11,2% – для IV варианта, на 22,4% – для V варианта, на 26,5% – для VI варианта, на 38,8% – для VII варианта и на 53,1% – для VIII варианта.

Разрывное удлинение плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения по длине изменяется от 141,7 до 112% (рис. 3 – разрывное удлинение по длине (а) и по ширине (б) плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения), т.е. уменьшается на 24,3%, а по ширине изменяется от 178 до 154%, т.е. уменьшается на 43,9% по сравнению с базовым образцом, разрывное удлинение которого составляет 148% по длине и 180% по ширине.

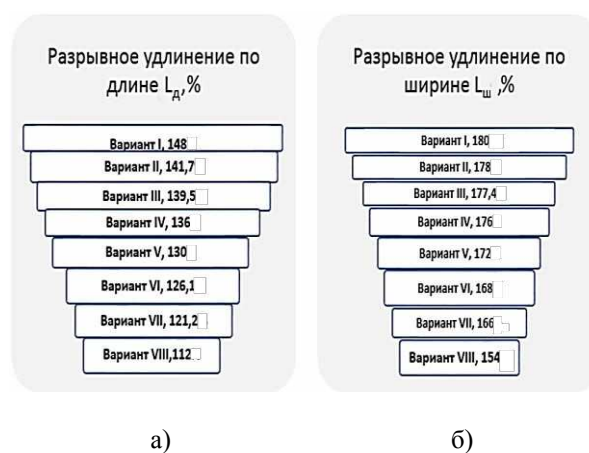


Рис. 3

Воздухопроницаемость плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения уменьшается с увеличением количества пресовых петель в раппорте переплетения от 520 до 450 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, т.е. снижается на 16,7% по сравнению с базовым образцом, воздухопроницаемость которого составляет 540 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

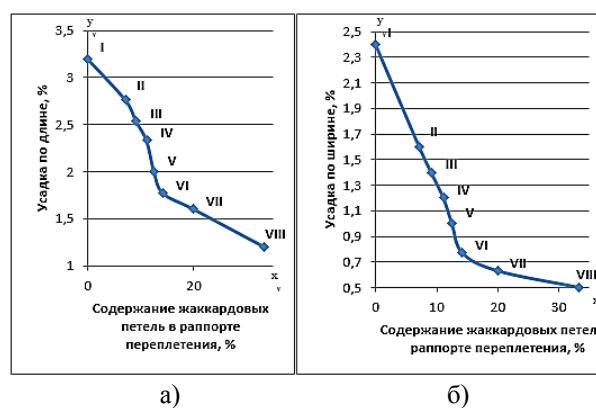


Рис. 4

Усадка плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения уменьшается с увеличением количества жаккардовых петель в раппорте переплетения (рис. 4 – зависимость усадки по длине (а) и ширине (б) плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения от количества жаккардовых петель в раппорте переплетения), что указывает на увеличение формоустойчиво-

сти предлагаемого трикотажа по сравнению с базовым образцом при влажно-тепловых обработках [9], [10].

Обратимая деформация плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения изменяется от 82 до 93,7% по длине и от 80 до 94,6% по ширине (рис. 5 – обратимая деформация по длине (а) и ширине (б) плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения).

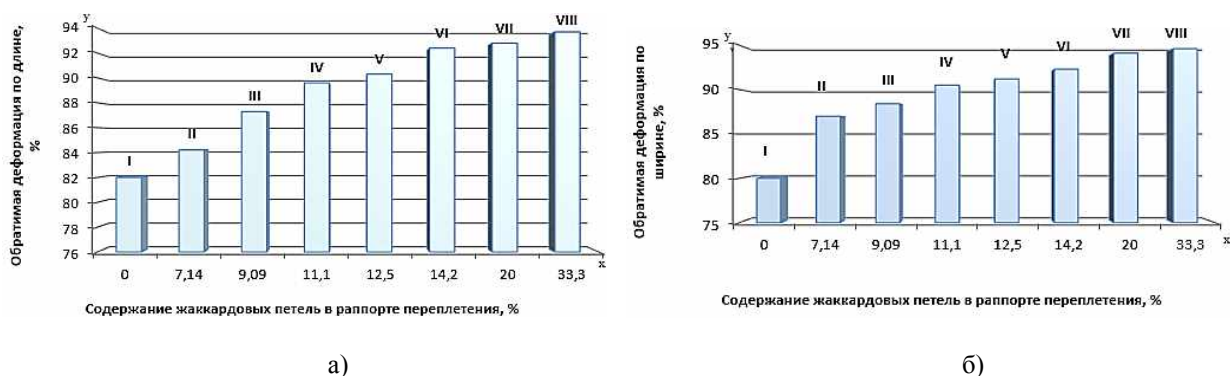


Рис. 5

ВЫВОДЫ

При определении формоустойчивости трикотажа большое значение имеет доля обратимых деформаций. Доля обратимой деформации по длине I варианта на 2,6% больше, чем у базового образца, а по ширине – на 8,7% больше. Обратимая деформация VIII варианта больше обратимой деформации базового образца уже на 14,3% по длине и на 18,2% по ширине.

Установлено, что с включением в структуру плюшевого трикотажа элементов жаккардового переплетения доля обратимых деформаций увеличивается. Увеличение доли обратимой деформации с увеличением количества жаккардовых петель в раппорте переплетения плюшевого трикотажа можно объяснить наличием удлиненных жаккардовых петель, которые усиливают сопротивляемость трикотажа деформации по длине и наличием жаккардовых протяжек, которые делают структуру трикотажа более устойчивой к деформациям по ширине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аймен А.Т., Аташева Д.О., Хажгалиева Д.М., Мырзахмет-Сарыкулова Л.Т., Дуйсембаева А.Т. Проблемы развития легкой промышленности Казахстана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.42...47.
2. Назикова Ж.А., Абдукаримова З.Т., Джоланов Е.Е. Анализ современного состояния и тенденций развития текстильной промышленности Республики Казахстан // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №2. С. 5...12.
3. Сарыкулова Л.Т., Сарыкулова Л.Т., Аташева Д.О., Дуйсембаева А.Т., Бекбаулина С.Х. Тенденции развития и регулирования легкой промышленности в Казахстане // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №2. С. 18...22.
4. Нехорошкина М.С., Рудовский П.Н. Методика определения доли энергии удара, поглощенной тканью или пакетом ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.53...57.
5. Мырхалыков Ж.У., Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А. Возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из искусственных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С. 49...53.

6. Махмудова Г.И., Мырхалыков Ж.У., Каратаев М.С., Нурмаматова О., Нурбекова Г.З. Технология и процесс вязания плюшевого трикотажа на базе пресс-жаккардового переплетения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С. 94...97.

7. Махмудова Г.И., Каратаев М.С., Сатаев М.И., Нурмаматова О.И., Садыбек А. Влияние количество жаккардовых петель на физико-механические свойства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.34...38.

8. Махмудова Г.И., Каратаев М.С., Кайранбеков Г.Д. Анализ физико-механических свойств формоустойчивого плюшевого трикотажа для верхней одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №1. С.166...170.

9. Гуляева Г.Х., Мукимов М.М. Технология выработки формоустойчивого плюшевого трикотажа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №1. С.80...83.

10. Мусаева М.М., Ханхаджаева Н.Р., Мукимов М.М. Формоустойчивый трикотаж уточного переплетения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, №2. С.54...61.

REFERENCES

1. Aimen A.T., Atasheva D.O., Khazhgalieva D.M., Myrzakhmet-Sarykulova L.T., Duysembaeva A.T. Problems of light industry development in Kazakhstan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 1. P. 42...47.

2. Nazikova Zh.A., Abdukarimova Z.T., Dzholanov E.E. Analysis of the current state and trends in the development of the textile industry of the Republic of Kazakhstan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 2. P. 5...12.

3. Sarykulova L.T., Sarykulova L.T., Atasheva D.O., Duysembayeva A.T., Bekbaulina S.Kh. Tendencies of development and regulation of the light industry

in Kazakhstan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 2. P. 18...22.

4. Nekhoroshkina M.S., Rudovsky P.N. Method of Definition for part of collision energy which is absorbed by fabric or fabric-package // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 1. P. 53...57.

5. Myrhalikov Zh.U., Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A. Possible improve adhesion rubberto textile cord of artificia // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 1 P. 38...42.

6. Makhmudova G.I., Myrhalikov Zh.U., Karataev M.S., Nurmamatova O., Turebekova G.Z. Technology and process of knitting plush jersey on the basis of the press an jacquard interlacing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 1. P. 94...97.

7. Makhmudova G., Karatayev M. S., Satayev M. I., Nurmamatova O. I., Sadybek A. Influence of the number of jacquard loops on the physical and mechanical properties / Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 1. P.34...38.

8. Makhmudova G.I., Karataev M.S., Kairanbekov G.D. Analysis of physical and mechanical properties of form-resistant plush knitwear for outerwear // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №1. P. 166...170.

9. Gulyaeva G. Kh., Mukimov M. M. Technology of production of form-resistant plush knitwear // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №1. P. 80...83.

10. Mусаeva M. M., Khankhodzhaeva N. R., Mukimov M. M. Form-resistant knitwear of weft weave // Proceedings of higher education institutions. Light industry technology. – 2019, № 2. P. 54...61.

Поступила 26.05.22.

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ**

**ANALYSIS OF SPINNING SOLUTIONS PREPARING METHODS
FOR ELECTROSPINNING OF HEMOSTATIC FILMS**

М.А. ДЕМИДОВА¹, Д.Б. РЫКЛИН¹, В.А. МОЛОТОК², С.Э. РЖЕУССКИЙ²

М.А. DEMIDOVA¹, D.B. RYKLIN¹, V.A. MOLOTOK², S.E. RZHEUSSKY²
(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
Витебский государственный ордена Дружбы народов
медицинский университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,
Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Republic of Belarus)

E-mail: demidova.mariya00@gmail.com; ryklin-db@mail.ru; veronikanovitskaya1998@gmail.com; sirrr@inbox.ru

В настоящее время в мире активно ведутся разработки функциональных материалов, покрытий и веществ для нужд биомедицины, поскольку это позволяет решить ряд специфических проблем, невозможных без их применения. Управление структурой материала с механизмом таргет-доставки позволяет регулировать его основные свойства, это возможно путем изменения способа приготовления прядильного раствора волокнообразующего полимера с добавлением таргет-компонента. В связи с этим в статье устанавливается влияние способа приготовления формовочного раствора на структуру и морфологию нановолокнистого материала, а также на эффективность его применения в качестве гемостатической пленки. Экспериментальные исследования процесса электроформования проводились на установке Fluidnatek LE-50. Изображения электроформованных материалов были получены с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия). Доказано, что способ приготовления раствора оказывает существенное влияние на структуру и морфологию нановолокнистого материала с добавлением таргет-компонентов. При этом при использовании гемостатических таргет-компонентов структура нановолокнистого материала не оказывает значительного влияния на свойства получаемой гемостатической пленки. На основе анализа полученных результатов предложен способ приготовления прядильного раствора.

Currently, various targeted materials, coatings and substances are being developed for the needs of biomedicine. This is due to the fact that they allow to solve a number of specific problems that there are impossible without them. Controlling the structure of materials with a target delivery mechanism makes it possible to control its main properties, which is possible by changing the method of preparing a spinning solution of a fiber-forming polymer with the addition of a target component. The experiments were carried out on the machine Fluidnatek LE-50. Images of the electrospun webs were obtained using a scanning electron microscope LEO 1420 (Carl Zeiss, Germany). It has been proven that the method of preparing the solution has an effect on the structure and morphology of the nanofibrous material with the

addition of target components. At the same time, when using hemostatic target components, the structure of the nanofibrous material does not significantly influence on the properties of the electrospun film. Based on the obtained results analyzing the method for spinning solution preparing is proposed.

Ключевые слова: электроформование, поливиниловый спирт, гемостатическая пленка, таргет-компонент.

Keywords: electrospinning, polyvinyl alcohol, hemostatic film, target component.

Одним из наиболее перспективных направлений разработки инновационных материалов для медицины является применение метода электроформования, позволяющего получать нановолокнистые материалы и покрытия разной структуры с заданным комплексом свойств. В настоящее время благодаря разнообразию свойств нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций, они стали альтернативными терапевтическими средствами для многих сфер биомедицины [1]. Исследователями разрабатываются электроформованные материалы из натуральных и синтетических полимеров с заданной скоростью биodeградации, обладающие нетоксичностью и не вызывающие иммунного ответа у организма пациента; материалы с механизмом таргетной доставки, в которые включен специфический лекарственный компонент [2]; электроформованные конструкции, служащие подложкой для нарастания костной ткани и ткани органа, применяющиеся как *in vivo*, так и *in vitro* [3], и многие другие терапевтические средства, получаемые методом электроформования.

Структура неоднородного электроформованного материала, произведенного с включением активных веществ, позволяет обеспечить медленное и постепенное его выделение, что обуславливает хорошую впитываемость и позволяет точно рассчитать дозировку. Именно с этим и связан повышенный интерес к электроформованным волокнам со стороны биомедицины. В настоящее время ученые озабочены созданием таких терапевтических средств, которые позволят с помощью механизма таргет-доставки снизить токсическую нагрузку и связанные с ней побочные эффекты в орга-

низме пациента, а также сделать терапию интенсивной и более эффективной из-за прямой доставки лекарственного средства к пораженному органу.

Все таргет-системы, материалы, вещества и покрытия, направленные на доставку лекарства, состоят из вспомогательных веществ и таргет-частиц – микро- или наночастиц или волокон, отвечающих за непосредственный перенос лекарства. При этом, если речь идет о создании материала, то необходимо большое внимание уделить его структуре и тем волокнам, что будут ее составлять. Структура однослойных и многослойных электроформованных материалов определяет длительность и/или последовательность воздействия различных активных веществ, в связи с этим актуальным является проблема получения электроформованного неоднородного материала с заранее спрогнозированной структурой. Для биомедицины проектирование свойств получаемого материала является главным вопросом при получении материалов с механизмом таргет-доставки, поскольку получаемый материал должен отвечать строгим требованиям по его составу, времени и характеру биodeградации, ее условиям и др., а они напрямую зависят от его структуры.

В настоящее время в мире активно ведутся разработки различных таргетных материалов, покрытий и веществ для различных нужд биомедицины, поскольку это позволяет решить ряд специфических проблем, невозможных без применения таргет-компонента. Разработки, посвященные созданию таргет-систем, ведутся специалистами Китая, Канады, Южной Кореи, Японии, Индии, России, Таиланда и других стран. Исследования проводятся с исполь-

зованием микро- и нановолокон и частиц, и их результатом становятся разнообразные материалы и вещества для различных биомедицинских целей, таких как лечение раковых опухолей, воспалений кишечника, опухолей головного мозга, защиты раневых поверхностей от экзогенных организмов, доставки специфических лекарственных средств к пораженным внутренним органам и системам организма. Электроформование является одним из способов получения микро- и нановолокон, которые могут лечь в основу создания инновационного материала с механизмом таргет-доставки лекарства.

Волокна с включенным активным компонентом широко используются в фармацевтике и регенеративной медицине, таргет-системах для лечения раковых опухолей [4], стоматологии, раневой терапии, тканевой инженерии [5], для специфической постоперационной терапии [6], когда необходимо, чтобы материал с лекарственным средством оставался внутри пациента, продолжая свое действие, и при этом токсическая нагрузка и побочные эффекты были минимальными. Все это приводит к тому, что медицина нуждается в материалах с точно спроектированными характеристиками, которые будут отвечать заданным качествам и дадут необходимый терапевтический эффект. Это возможно лишь в том случае, если понимание процесса взаимодействия волокнообразующего полимера с активным компонентом будет полным, а также характеристики и качество получаемого материала будут контролируемы. Широкий спектр биodeградирующих полимеров может быть использован при электроформовании для получения материалов, покрытий, сеток и других нановолоконных конструкций с определенным расположением волокон и структурной целостностью. Поверхность нановолокна может быть спроектирована таким образом, чтобы отвечать конкретным биохимическим характеристикам.

В биомедицине и косметологии применяется огромное количество полимеров для различных назначений. Однако ко всем из

них предъявляется специфический ряд требований, обусловленный биомедицинской направленностью данных полимеров. Так, основными требованиями, предъявляемыми к нановолокнистым полимерным материалам, покрытиям и конструкциям, можно назвать следующие:

- биосовместимость;
- отсутствие токсической нагрузки на организм пациента и иммунного ответа;
- специфический характер и скорость биodeградации;
- способность выведения из организма пациента и ненакопление в тканях и органах;
- отсутствие или сведение к минимуму побочных эффектов.

Все это является узким фильтром для использования полимеров при производстве биомедицинских материалов, так как соблюдение всех данных требований является обязательным, и ни одним из них нельзя пренебречь. В некоторых случаях, если электроформованный материал или покрытие предполагают использование на коже пациента, а не внутри (при производстве перевязочных средств, ожоговой терапии, терапии диабетических ран и др.), требования к токсичности применяемого полимера могут быть снижены. Однако не только особенности полимера влияют на возможность применения его для нужд биомедицины. Нередко желаемый с точки зрения биомедицины полимер не может быть использован для получения электроформованных материалов, так как разрушается в процессе воздействия электрическим током или меняет свои свойства, или для приготовления прядильного раствора требует смешения с растворителем, не отвечающим всем требованиям безопасности.

Целью данной работы являлось исследование влияния способа приготовления волокнообразующего раствора с таргет-компонентом на структуру и морфологию нановолокнистого материала, а также на эффективность его применения в качестве гемостатической пленки.

Исследования проводились на установке для формирования нановолокнистых

материалов Fluidnatek LE-50. Электроформование на данной установке осуществляется с использованием прядильной головки, на которую подается по капилляру прядильный раствор. Высокое напряжение, прикладываемое к прядильной головке (эмиттеру), индуцирует в растворе полимера одноименные электрические заряды, которые, в результате кулоновского электростатического взаимодействия, приводят к вытягиванию раствора полимера в тонкую струю, которая впоследствии расщепляется на более тонкие струи при определенном соотношении значений вязкости, поверхностного натяжения и плотности электрических зарядов (или напряженности электростатического поля) в волокне. Полученные струи отверждаются за счет испарения растворителя, превращаются в волокна, и под действием электростатических сил дрейфуют к подложке, закрепленной на осадительном электроде.

В качестве волокнообразующего полимера при проведении исследований использовался поливиниловый спирт (ПВС) марки Arkofil PPL (Arhroma, Швейцария). Поливиниловый спирт является одним из наиболее распространенных полимеров, используемых для получения материалов медицинского назначения методом электроформования, что обусловлено его относительно низкой стоимостью и уникальными свойствами [7]. Создание концентрированных растворов полимеров с лекарственными веществами различной природы приводит к получению эффективных лечебных средств для внутреннего и наружного применения. При этом в ряде случаев физиологическая активность полимеров проявляется в активизации процессов всасывания и проникновения лекарственных средств через слизистые оболочки, кожу и др. [8]. Благодаря нетоксичности поливиниловый спирт может применяться в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозаменяющих растворов [9].

В качестве таргет-компонента добавок были выбраны хлорид железа $AlCl_3$ и хло-

рид алюминия $FeCl_3$. Стандартное применение солей алюминия в медицине подразумевает оказание антацидного эффекта при пероральном приеме [10]. Препараты железа, как в парентеральной, так и пероральной форме, ассоциируются в первую очередь с лечением железодефицитной анемии [11], а также способны вызывать денатурацию белков крови с переходом в твердое состояние, что позволяет реализоваться их гемостатическому эффекту [11].

В рамках исследования было приготовлено два волокнообразующих раствора, содержащих 14% ПВС, 1,7% хлорида алюминия и 0,8% хлорида железа.

Процесс приготовления первого раствора осуществлялся следующим образом. Вначале осуществлялось получение водного раствора ПВС на водяной бане до полного растворения гранул полимера. При этом массовая доля ПВС в растворе на данном этапе подбиралась таким образом, чтобы его содержание в окончательном растворе с функциональными добавками составила 14%. Далее в полученный раствор, охлажденный до комнатной температуры, добавляли порошки хлорида железа $AlCl_3$ и хлорида алюминия $FeCl_3$, после чего помешивали до полного растворения солей.

Второй исследуемый раствор был получен следующим образом. На водяной бане осуществлялось приготовление водного раствора ПВС с концентрацией 22% до полного растворения гранул полимера. Одновременно с этим в части дистиллированной воды растворялись порошки хлорида железа $AlCl_3$ и хлорида алюминия $FeCl_3$ при комнатной температуре (8,5% хлорида алюминия и 4% хлорида железа). Далее полученные растворы смешивались в соотношении 3:1.

Процесс электроформования нановолокнистых материалов из растворов, полученных обоими способами, протекал стабильно. Исследование структуры получаемых нановолокнистых материалов осуществлялось с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия).

На рис. 1 и 2 представлены изображения структуры нановолокнистого материала при увеличении в 15000 раз, выработанного из растворов ПВС Arkofil PPL с добавлением таргет-компонента, полученных первым и вторым способами приготовления соответственно.

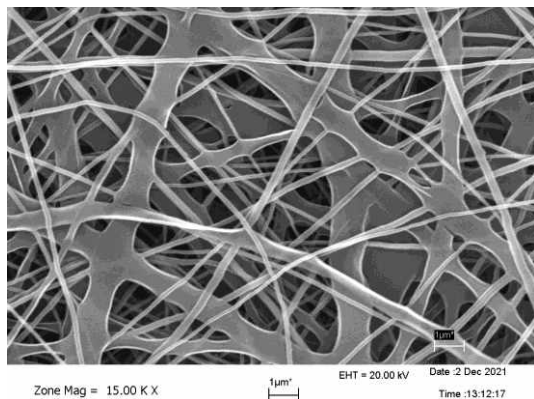


Рис. 1

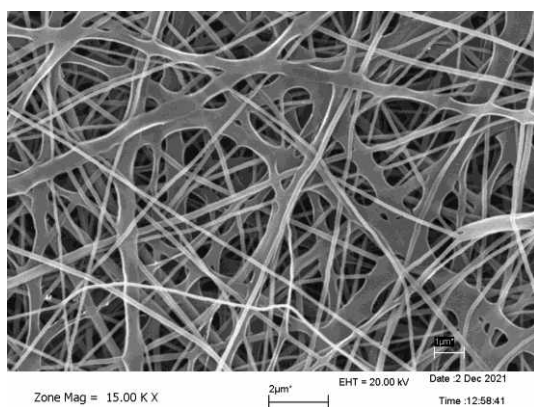


Рис. 2

Анализ полученных изображений показал, что при приготовлении прядильного раствора первым способом (рис. 1) неравномерность структуры получаемого нановолокнистого материала существенно выше, чем при использовании второго способа (рис. 2). При этом нановолокна распределены по поверхности подложки относительно равномерно в обоих случаях, однако при приготовлении волокнообразующего раствора первым способом они чаще слипаются между собой, образуя кластеры.

Средний диаметр волокна при первом способе составил 174,77 нм, а коэффициент вариации по диаметру волокна – 47,3 %. При втором способе приготовления средний диаметр волокна снизился и составил

131,64 нм, коэффициент вариации по диаметру волокна – 36,0 %. Для определения указанных статистических характеристик осуществлялись измерения 100 волокон каждого из образцов по пяти фотографиям, полученных при увеличении в 15000 раз.

Количественная оценка равномерности нановолокнистого покрытия осуществлялась на основании анализа законов распределения нановолокон по диаметру. Ранее было установлено, что раствор в зоне между эмиттером и коллектором установки может рассматриваться по аналогии с процессом дробления частиц в других отраслях производства. При этом соответствие распределения логнормальному закону может использоваться в качестве одного из критериев стабильности процесса электроформования [12].

В обоих случаях распределение волокон по диаметру соответствует логнормальному закону (рис. 3, 4), что позволяет считать процесс расщепления струи на всем пути от эмиттера до коллектора стационарным.

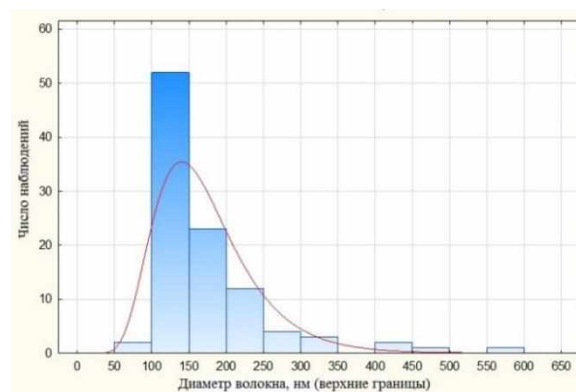


Рис. 3

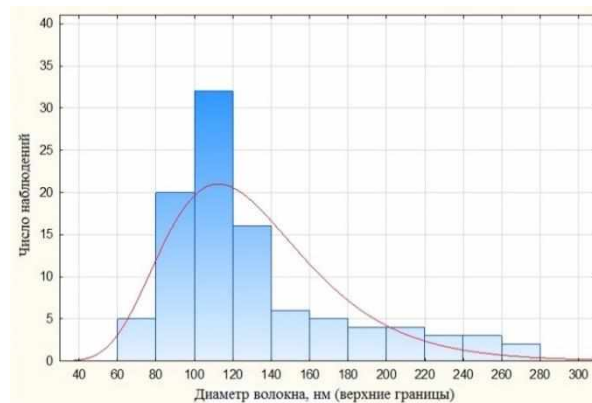


Рис. 4

На рис. 3 представлена гистограмма распределения диаметров нановолокон в образце, полученном из раствора, приготовленного первым способом, на рис. 4 – вторым способом.

Оценку специфической фармакологической активности фармацевтической композиции на основе алюминия хлорида проводили методом моделирования паренхиматозного кровотечения на печени четырех крыс. С помощью продольного разреза по белой линии живота животным выполняли лапаротомию после предварительного введения тиопенталового наркоза, дозу которого рассчитывали на килограмм массы тела. Для создания повреждения на поверхности печени данный орган выводили в просвет раны для проведения резекции скальпелем. Срезанный сегмент образовывал рану с ровными краями и равномерной кривизной, площадью около 1 см² и глубиной приблизительно 0,1 см. После проведенной манипуляции измеряли время остановки кровотечения после нанесения образца гемостатической пленки.

Установлено, что среднее время остановки кровотечения без нанесения лекарственного препарата (естественная остановка) составляет 261,8 с. При использовании пленки медицинской двух видов было отмечено ее плотное прилегание к краям раны, она не прорывалась и не растворялась потоком крови, то есть гемостаз достигался мгновенно. На 6-е сутки следов пленки на печени не наблюдалось, поэтому после использования лекарственного препарата потребность в его смывании или удалении иным способом отсутствовала в связи с биodeградируемыми свойствами материала, которые обеспечиваются видом волокнообразующего полимера и малой толщиной волокон, из которых состоит получаемая пленка. Таким образом, исследования показали, что способ приготовления прядильного раствора не оказывает значимого влияния на физико-химические, терапевтические и эксплуатационные показатели получаемых нановолокнистых гемостатических пленок.

Полученные результаты свидетельствуют о повышенной неравномерности структуры нановолокнистого материала из прядильного раствора, полученного первым способом приготовления, при сохранении качественных характеристик получаемых нановолокон, что позволяет количественно подтвердить тот факт, что способ приготовления раствора оказывает существенное влияние на структуру и морфологию нановолокнистого материала с добавлением таргет-компонентов. Однако при использовании данных таргет-компонентов структура нановолокнистого материала не оказывает существенного влияния на свойства получаемой гемостатической пленки. Следовательно, выбор способа приготовления прядильного раствора следует осуществлять исходя из его удобства.

Можно сделать вывод, что более удобным в практическом применении является первый способ приготовления прядильного раствора, так как он состоит из меньшего количества этапов. Кроме того, в случае применения второго способа необходимо повышать концентрацию поливинилового спирта в растворе до введения в него гемостатических добавок. Это приводит к затруднениям в приготовлении, увеличению времени растворения гранулы ПВС.

Следовательно, рациональным является первый из описанных в работе способ получения раствора для электроформования гемостатических пленок, который предполагает растворение функциональных добавок непосредственно в подготовленном растворе ПВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Juncos B.A.D., Dunne N.J., McCarthy H.O.* Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibres for wound healing applications // *Materials Science and Engineering: C*. – 2020. Art. 110994.
2. *Rahmati M., Mills D.K., Urbanska A.M., Saeb M.R., Venugopal J.R., Ramakrishna S., Mozafari M.* Electrospinning for tissue engineering applications // *Progress in Materials Science*. – 2020. Art. 100721.

3. Плотникова Е. Ю. Актуальность антацидов и альгинатов в лечении заболеваний органов пищеварения // Лечащий врач. – 2015, №2. С. 58...64.

4. Mehnath S., Chitra K., Karthikeyan K., Jeyaraj M. Localized delivery of active targeting micelles from nanofibers patch for effective breast cancer therapy // International Journal of Pharmaceutics. – 2020, 584. Art. 119412.

5. Xie X., Chen Y., Wang X., Xu X., Shen Y., Khan A.R., Aldalbahi A., Fetz A.E., Bowlin G.L., El-Newehy M., Mo X. Electrospinning nanofiber scaffolds for soft and hard tissue regeneration // Journal of Materials Science & Technology. – 2020, 59. P. 243...261.

6. Ben-Nun Y., Fichman G., Adler-Abramovich L., Turk B., Gazit E., Blum G. Cathepsin nanofiber substrates as potential agents for targeted drug delivery // Journal of Controlled Release. – 2017, 257. P. 60...67.

7. Дорошенко И.А. Влияние сшивающих агентов на набухание поливинилового спирта в воде // Вестник ВГТУ, Химическая технология и экология. – 2014, №27. С. 136...140.

8. Физиологически активные полимеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 10.06.2022.

9. Попова И.Н., Файнберг Е. Д., Лившиц Ю.Т. Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс. – Ленинград: Химия, 1977.

10. Дворецкий Л. И. Сульфат железа в лечении железодефицитной анемии: позиции сохраняются // Терапевтический архив. – 2017, №10. С. 108...112.

11. Демидова М.А., Новицкая В.А., Рыклин Д.Б., Гвоздев С.В. Получение гемостатических пленок методом электроформования // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. – 2021. С. 181...186.

12. Рыклин Д.Б., Демидова М.А., Азарченко В.М., Скроцкая К.В. Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №4. С. 121...128.

REFERENCES

1. Juncos B.A.D., Dunne N.J., McCarthy H.O. Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibres for wound healing applications // Materials Science and Engineering: C. – 2020. Art. 110994.

2. Rahmati M., Mills D.K., Urbanska A.M., Saeb M.R., Venugopal J.R., Ramakrishna S., Mozafari M. Electrospinning for tissue engineering applications // Progress in Materials Science. – 2020. Art. 100721.

3. Plotnikova E.U. The relevance of antacids and alginates in the examination of the digestive organs // Attending physician. – 2015? №2. P. 58...64.

4. Mehnath S., Chitra K., Karthikeyan K., Jeyaraj M. Localized delivery of active targeting micelles from nanofibers patch for effective breast cancer therapy // International Journal of Pharmaceutics. – 2020, 584. Art. 119412.

5. Xie X., Chen Y., Wang X., Xu X., Shen Y., Khan A.R., Aldalbahi A., Fetz A.E., Bowlin G.L., El-Newehy M., Mo X. Electrospinning nanofiber scaffolds for soft and hard tissue regeneration // Journal of Materials Science & Technology. – 2020, 59. P. 243...261.

6. Ben-Nun Y., Fichman G., Adler-Abramovich L., Turk B., Gazit E., Blum G. Cathepsin nanofiber substrates as potential agents for targeted drug delivery // Journal of Controlled Release. – 2017, 257. P. 60...67.

7. Doroshenko I.A. Influence of cross-linking agents on the swelling of polyvinyl alcohol in water. Vestnik VSTU, Chemical technology and ecology. – 2014, № 27. P. 136...140.

8. Physiologically active polymers [Electronic resource]. – Access mode: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Access date: 06.10.2022.

9. Popova I.N., Fainberg E.D., Livshits U.T. Economics of production and use of polymerization plastics // Leningrad: Chemistry, 1977.

10. Dvoretzky L.I. Ferrous sulfate in the treatment of iron deficiency anemia: positions are preserved // Therapeutic archive. – 2017, № 10. P. 108...112.

11. Demidova M.A., Novitskaya V.A., Ryklin D.B., Gvozdev S.V. Obtaining hemostatic films by electrospinning // Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials. – 2021. P.181...186.

12. Ryklin D.B., Demidova M.A., Azarchenko V.M., Skrotskaya K.V. The law substantiation of nanofibers distribution by diameter in materials obtained by method electroformations // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. P. 121...128.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных материалов Витебского государственного технологического университета. Поступила 11.08.22

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

PRODUCTION OF POLY-3-HYDROXYBUTYRATE- BASED FIBERS BY ELECTROSPINNING

НГУЕН ХОАНГ ТХАНЬ, Р.О. ОЛЕХНОВИЧ, М.В. УСПЕНСКАЯ
NGUYEN HOANG THANH, R.O. OLEKHNOVICH, M.V. USPENSKAYA

(Университет ИТМО)

(ITMO University)

E-mail: mv_uspenskaya@mail.ru; r.o.olekhnovich@mail.ru; hongthanhropical@gmail.com

В работе исследуется влияние различных параметров на получение волокон из полигидроксibuтирата методом электроспиннинга. К исследуемым параметрам относятся: концентрация полимера в растворе, приложенное напряжение между иглой и коллектором и скорость подачи раствора. Показано, что волокна с наименьшими дефектами и минимальным средним диаметром получают при концентрации полимера 8 мас.%, напряжении между иглой и коллектором, равным 30 кВ, и скорости подачи раствора 0,3 мл/ч.

In work, the influence of various parameters on the production of fibers from polyhydroxybutyrate by electrospinning is studied. The parameters under study include: the concentration of the polymer in the solution, the applied voltage between the needle and the collector, and the solution feed rate. It is shown that fibers with the smallest defects and the minimum average diameter are obtained at a polymer concentration of 8 wt.%, a voltage between the needle and the collector equal to 30 kV, and a solution flow rate of 0.3 ml/h.

Ключевые слова: нановолокна, электроформование, полигидроксibuтират.

Keywords: nanofibers, electrospinning, polyhydroxybutyrate.

Введение

Развитие современной науки предполагает постоянное совершенствование или создание новых и универсальных материалов с улучшенными свойствами. Такими материалами могут выступить наноматериалы. Наноматериалы – это общий термин, характеризующий все типы материалов с характеристическими размерами элементов от 0,1 до 500 нм. Наноматериалы могут существовать в различных видах: нанотрубки, нанопорошки, нановолокна, тонкие пленки, нанопроволоки и т.д. Особый интерес приобретают нановолокна из-за большого отношения длины волокна к его диаметру. Нановолокна используются в раз-

личных областях промышленности, таких как батареи [1] и топливные элементы [2], транзисторы [3], композиты для аэрокосмических конструкций, доставка лекарств [4] и тканевая инженерия [5].

Для получения нановолокон могут быть использованы различные методы, такие как вытягивание, темплатный метод, метод электроформования (электроспиннинг) и магнитоспиннинг. Наиболее перспективный процесс производства нановолокон является электроспиннинг. Электроспиннинг – это процесс, который приводит к получению нановолокон в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора

или расплава. Метод электроспиннинга был впервые предложен в 1934 году Формхалсом. В процессе формования нановолокон электрическое напряжение прикладывается к раствору (расплаву) полимера. Электростатическое взаимодействие приводит к вытягиванию раствора полимера в тонкую струю. Полученная струя может делиться на более тонкие струи при определенном соотношении значений вязкости, поверхностного натяжения и плотности электрических зарядов (или напряженности электростатического поля) в волокне. После вытягивания раствора полимера растворитель испаряется, а сама струя осаждается на коллекторе.

К основным факторам, влияющим на морфологию нановолокон методом электроформования, относят: параметры полимерных растворов, технические параметры и параметры окружающей среды. Считается, что параметры полимерных растворов имеют более важное значение, чем остальные параметры. Было показано, что при повышении молекулярной массы используемых полимеров возрастает вязкость растворов и увеличивается диаметр получаемых нановолокон [6], [7], [8]. При низком поверхностном натяжении образуются капли раствора [9], а проводимость раствора существенно влияет на процесс образования "конуса Тэйлора" [8]. Также напряжение между коллектором и иглой, скорость подачи раствора, расстояние между иглой и коллектором влияют на морфологию нановолокон [10]. Повышение температуры приводит к получению нановолокна с небольшим диаметром, а увеличение влажности приводит к увеличению пористости [8]. Основные закономерности влияния различных факторов на морфологию нановолокон методом электроформования установлены, но для разных полимеров или смесей используются индивидуальные наборы технических параметров, поэтому исследование влияния различных параметров **на морфологию** нановолокон методом электроформования на основе конкретного полимера или смеси полимеров является актуальным.

Поли-3-гидроксibuтират (ПГБ) – природный биополимер из семейства полигидроксиалканоатов, который обладает биосовместимостью и биоразлагаемостью. ПГБ представляет собой кристаллический полимер, поэтому пленки на его основе обладают высокой кристаллическостью [11], способствующей разрушению пленок при эксплуатации. Как результат, во многих исследованиях ПГБ смешивают с другими полимерами для улучшения физико-механических свойств. Были получены волокнистые мембраны с биоразлагаемым полиэфирным полигидроксibuтиратом и поли-ε-капролактоном для медицинского применения [12], получены мембраны на основе поли (3-гидроксibuтирата) (ПГБ) и хитозана для применения в тканевой инженерии [13], созданы мембраны на основе ПГБ–CaAlg для разделения масла и воды [14] или мембран на основе ПГБ/ПБТ для удаления бактерий из воды [15]. Хотя ПГБ обладает многими положительными свойствами, количество исследований по применению ПГБ мало, таким образом, исследование мембран на основе ПГБ методом электроформования является важной и актуальной задачей. В настоящей работе исследовано влияние концентрации ПГБ, напряжения между иглой и коллектором и скоростью подачи раствора на морфологию волокон на его основе.

Материалы и методы исследования *Материалы*

В работе использованы: поли-3-гидроксibuтират в виде гранул с маркой "Aonilex X151A", производится компанией Kaneka Corporation, Япония; хлороформ "ЭКОС-1", Россия.

Приготовление полимерного раствора

Были подготовлены растворы с концентрацией ПГБ: 6; 8; 10; 12 масс.%. Растворение заданного количества ПГБ производилось на магнитной мешалке при 40 °С в течение 3 ч.

Получение образцов

Формирование ПГБ волокон проводилось с использованием установки электроспиннинга NANON-01A, MECC CO., LTD, Япония. Для получения электроформован-

ных волокон на основе ПГБ были использованы следующие технологические параметры: напряжение между иглой и коллектором от 15 до 30 кВ, скорость подачи рас-

твора от 0,2 до 0,5 мл/ч, расстояние между иглой и коллектором 15 см. Полученные волокна осаждались на предметные стекла размером 75×25 мм.

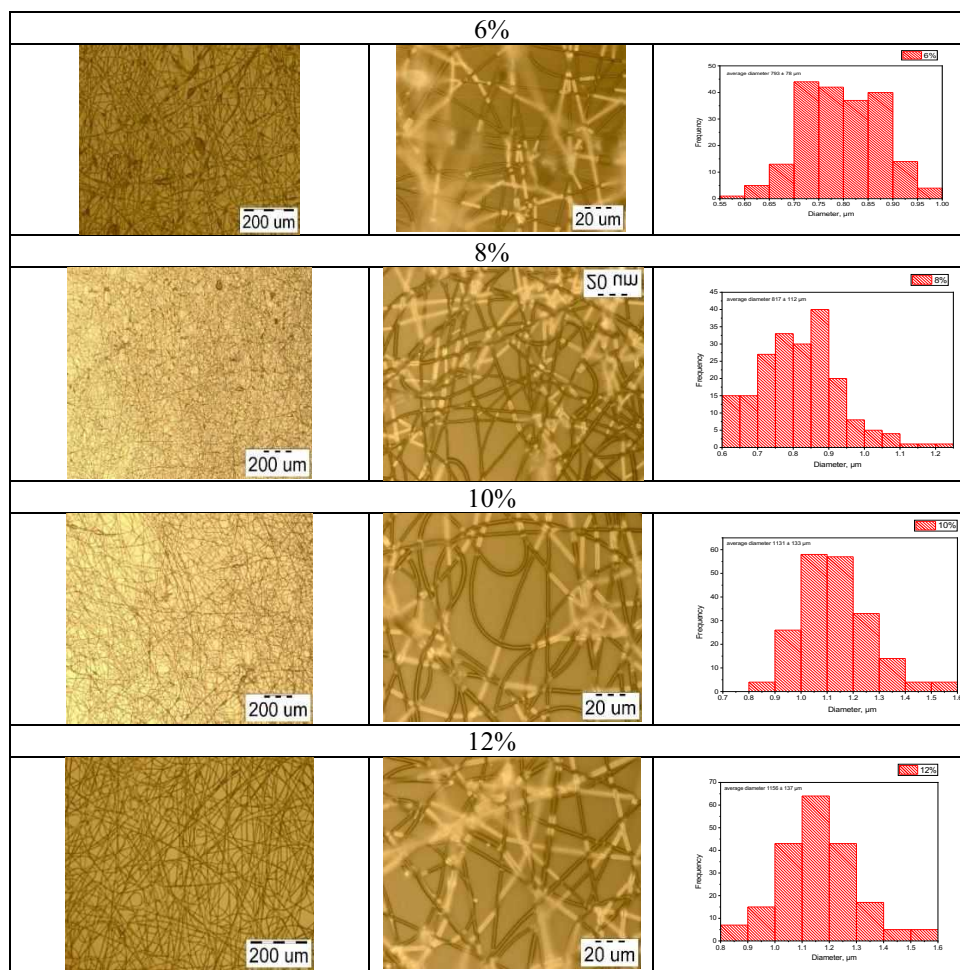


Рис. 1

Метод исследования

Фотографии полученных образцов на микроскопе Olympus STM6. Средний диаметр волокон был определен при помощи программы ImageJ. Гистограммы распределения диаметров волокон были построены в Origin Pro.

3. Результаты и обсуждения

Как указано в [7], изменение концентрации раствора сильно влияет на морфологию волокон за счет изменения вязкости. На рис. 1 представлены фотографии полученных нановолокон и распределение их диаметров при изменении концентрации ПГБ в растворе от 6 до 12% и использовании в качестве растворителя хлороформа. На рис. 2 приведена зависимость среднего диаметра полученных нановолокон от концентрации.

Как видно из фотографий на рисунке, при концентрации ПГБ меньше 8 мас.% образуются волокна со множественными дефектами в виде "капля".

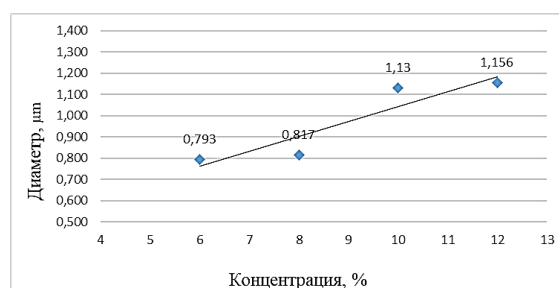


Рис. 2

При повышении концентрации ПГБ с 8 до 12 мас.% количество дефектов уменьшается. Как видно из рис. 2, при повышении

концентрации ПГБ увеличивается диаметр получаемых волокон с 0,8 до 1,2 мкм (рис. 2 – зависимость среднего диаметра ПГБ волокон от концентрации раствора).

Изменение напряжения между иглой и коллектором приводит к изменению величины электростатических сил, действу-

ющих на заряженную струю полимерного раствора. На рис.3 представлены фотографии полученных волокон при разных напряжениях между иглой и коллектором. На рис. 4 представлена зависимость среднего диаметра волокна от приложенного напряжения.

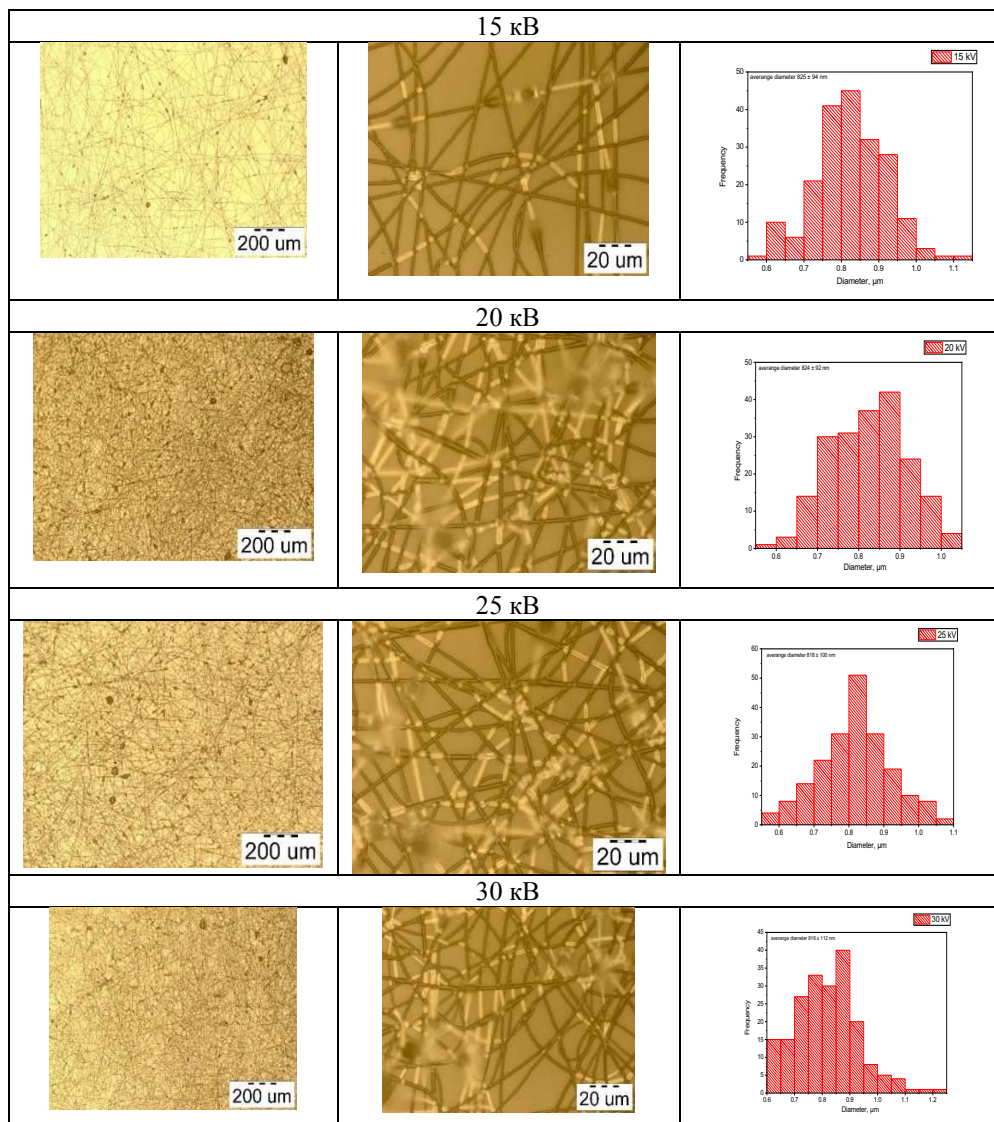


Рис. 3

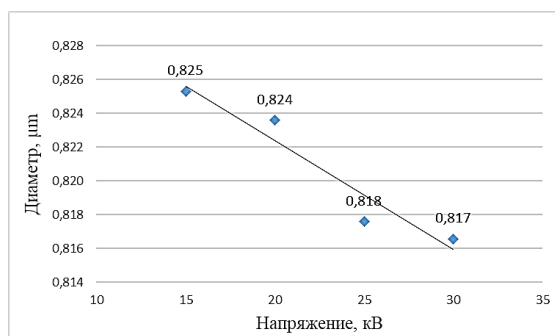


Рис. 4

Из рисунков видно, что при увеличении приложенного напряжения между иглой и коллектором число дефектов в полученных волокнах уменьшается. При этом средний диаметр получаемых волокон остается примерно одинаков 820 нм.

Одним из факторов, влияющих на морфологию волокон, является скорость подачи раствора. На рис.е 5 представлены фотографии изменения морфологии волокон

при изменении скорости подачи раствора от 0,2 до 0,5 мл/ч. На рис. 6 представлена зависимость среднего диаметра получае-

мых волокон при варьировании скорости подачи раствора.

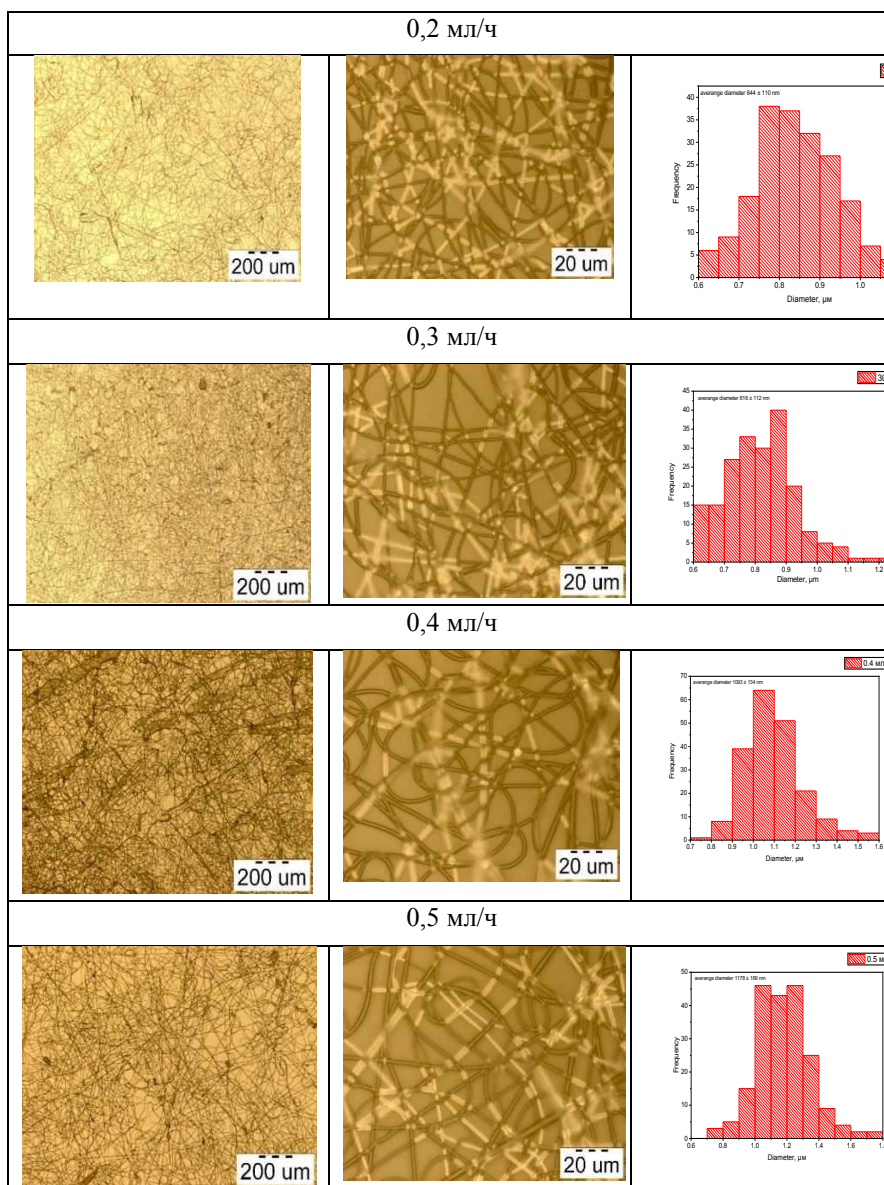


Рис. 5

лению большого количества дефектов. Также при этом увеличивается средний диаметр полученных волокон с 0,82 до 1,2 мкм.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе были проведено исследование влияния разных параметров на морфологию ПГБ волокон. Наименьший средний диаметр и минимальное количество дефектов получается при получении волокон при концентрации полимера 8 мас.%, скорости подачи раствора 0,3 мл/ч, напряжении между иглой и кол-

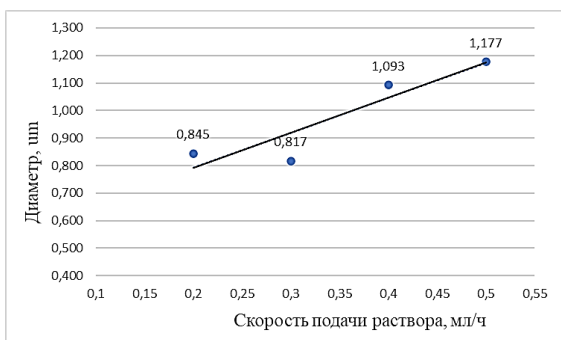


Рис. 6

По фотографиям видно, что увеличение скорости подачи раствора приводит к появ-

лектором 30 кВ и расстоянии между иглой и коллектором, равным 15 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Xu H. et al.* Electrospun Ti₃C₂T_x MXene and silicon embedded in carbon nanofibers for lithium-ion batteries // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – IOP Publishing, 2022. Vol. 55, № 20. P. 204002.

2. *Li J. et al.* Three-dimensional hierarchical graphitic carbon encapsulated CoNi alloy/N-doped CNTs/carbon nanofibers as an efficient multifunctional electrocatalyst for high-performance microbial fuel cells // *Compos. Part B Eng.* – Elsevier Ltd, 2022. Vol. 231.

3. *Lee M.Y. et al.* Fabrication of Stretchable and Transparent Core–Shell Polymeric Nanofibers Using Coaxial Electrospinning and Their Application to Phototransistors // *Adv. Electron.* – Mater. Blackwell Publishing Ltd. – 2021. Vol. 7, № 4.

4. *Yuan H. et al.* An injectable supramolecular nanofiber-reinforced chitosan hydrogel with antibacterial and anti-inflammatory properties as potential carriers for drug delivery // *Int. J. Biol. Macromol.* – Elsevier BV, 2022. Vol. 205. P. 563...573.

5. *Xue X., Liu Z.* Electrospun fiber-based nerve tissue engineering scaffold: Material, function and structure design strategy // *Chinese J. Tissue Eng. Res.* – Publishing House of Chinese Journal of Tissue Engineering Research. – 2022. Vol. 26, № 28. P.4575...4580.

6. *Wang C., Hsu C.H., Lin J.H.* Scaling laws in electrospinning of polystyrene solutions // *Macromolecules.* – 2006. Vol. 39, № 22. P. 7662...7672.

7. *Deitzel J.M. et al.* The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles // *Polymer (Guildf).* – Elsevier, 2001. Vol.42, № 1. P. 261...272.

8. *Ramakrishna S. et al.* An introduction to electrospinning and nanofibers // *An Introd. to Electrospinning*

Nanofibers. – World Scientific Publishing Co., 2005. P. 1...382.

9. *Theron S.A., Zussman E., Yarin A.L.* Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions // *Polymer (Guildf).* – Elsevier, 2004. Vol. 45, № 6. P. 2017...2030.

10. *Pham L.Q., Uspenskaya M.V.* Morphology pvc nanofiber, produced by electrospinning method // *Int. Multidiscip. Sci. GeoConference Surv. Geol. Min. Ecol. Manag. SGEM. International Multidisciplinary Scientific Geoconference.* – 2019. Vol. 19, № 6.1. P.289...295.

11. *Smith R.* Biodegradable polymers for industrial applications // *Biodegradable Polymers for Industrial Applications.* – Woodhead Publishing Limited. – 2005.

12. *Lin X. et al.* Fabrication of pH-responsive hydrophobic/hydrophilic antibacterial polyhydroxybutyrate/poly-ε-caprolactone fibrous membranes for biomedical application // *Mater. Chem. Phys.* – Elsevier Ltd, 2021. Vol. 260.

13. *Mohammadalizadeh Z., Karbasi S., Arasteh S.* Physical, mechanical and biological evaluation of poly(3-hydroxybutyrate)-chitosan/MWNTs as a novel electrospun scaffold for cartilage tissue engineering applications // *Polym. Technol. Mater.* – Taylor and Francis Inc., – 2020. Vol. 59, № 4. P. 417...429.

14. *Guo J. et al.* Preparation and dye filtration property of electrospun polyhydroxybutyrate–calcium alginate/carbon nanotubes composite nanofibrous filtration membrane // *Sep. Purif. Technol.* – Elsevier B.V., 2016. Vol. 161. P. 69...79.

15. *Lin X. et al.* Preparation and characterization of PHB/PBAT–based biodegradable antibacterial hydrophobic nanofibrous membranes // *Polym. Adv. Technol.* – John Wiley and Sons Ltd. – 2018. Vol. 29, № 1. P.481...489.

Поступила 01.08.22.

УДК 687.03:677.11+677.027.625.11
DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_128

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА
НА ЖЕСТКОСТЬ ТКАНОГО ПОЛОТНА***

**INFLUENCE OF LINEN FIBER POLYMERIC COMPONENTS
ON THE RIGIDITY OF WOVEN FABRIC**

Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА^{1,2}, Н.Л. КОРНИЛОВА¹, С.А. КОКШАРОВ³, О.В. РАДЧЕНКО^{1,4}

T.S. SOLODUSHENKOVA, N.L. KORNILOVA, S.A. KOKSHAROV, O.V. RADCHENKO

(Ивановский государственный политехнический университет,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,
ООО "Лидертекс", г. Иваново)

(Ivanovo State Polytechnical University,
Ufa State Petroleum Technical University,
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,
Lidertex LLC, Ivanovo)

E-mail: nkorn@mail.ru

Трудности создания широкого ассортимента одежды из льна связаны с повышенной природной жесткостью волокна. Ферментативные способы умягчения льняных материалов, наряду с экологичностью производственных процессов и получаемой продукции, обеспечивают возможность селективного воздействия на биополимерные компоненты волокна и высокую устойчивость эффекта при эксплуатации изделия. На примере ткани с натуральной серой окраской волокна проведено исследование влияния селективного извлечения лигнина и гемицеллюлоз, а также ферментативной модификации целлюлозы на изменение жесткости материала. Содержание лигнина варьировали в интервале 5,1...0,2 мас.% путем экстракции диоксаном. Селективное извлечение гемицеллюлоз с изменением их содержания от 8,4 до 2,2 мас.% обеспечивали гомогенными препаратами эндогалактаназы и эндоксилаказы. Жесткость ткани на изгиб оценивали консольным методом. Получена математическая модель влияния полимерных спутников льняной целлюлозы на жесткость ткани, отражающая разнонаправленное влияние

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда содействия инновациям № 3480ГС1/57516 «Разработка лабораторной технологии градиентного умягчения льняных полуфабрикатов с использованием жидкостной и маломодульной ферментативной обработки и лабораторных образцов ферментных препаратов, изготовление и исследование лабораторных образцов швейных изделий легкого и костюмного ассортимента».

лигнина и гемицеллюлоз в разных структурных зонах волокна. В ткани из серого льняного волокна усиление жесткости под влиянием лигнина компенсируется эластичностью структурных участков, формируемых разветвленными макромолекулами гемицеллюлоз. Показано, что снижение жесткости материалов возможно за счет регулируемой деструкции лигнина или целлюлозы при максимальном сохранении гемицеллюлозных соединений. Наименьший уровень жесткости достигается при содержании в волокне лигнина 1,0...1,5 мас.%, гемицеллюлоз 6,5...7 мас.%. Предложенные методы биомодификации с использованием целлюлаз обеспечивают снижение жесткости исходной ткани в 1,23 раза.

The increased natural stiffness of linen fiber causes certain difficulties during creating a wide range of linen clothing. Enzymatic methods of linen materials softening, along with the environmental friendliness of processes and products, provide the possibility of a selective effect on the biopolymer components of the fiber and a high stability of the effect during wearing clothes. For a fabric with a natural gray fiber color (self-color of flax), we studied the effect of selective extraction of lignin and hemicelluloses, as well as enzymatic modification of cellulose on a change in the stiffness of the material. We varied the content of lignin in the range of 5.1...0.2 wt.% by extraction with dioxane, and the selective extraction of hemicelluloses was provided by homogeneous preparations of endogalactanase and endoxylanase with a change in their content from 8.4 to 2.2 wt.%. The bending stiffness of the fabric was evaluated by the cantilever method. As a result, we have obtained a mathematical model of flax cellulose polymer satellites influence on the stiffness of the fabric, which reflects the multidirectional influence of lignin and hemicelluloses in different structural zones of the fiber. We found that in a fabric made of gray flax fiber, the increase in stiffness under the influence of lignin is compensated by the elasticity of the structural regions formed by branched hemicellulose macromolecules. The article shows that the reduction of the stiffness of materials is possible due to the controlled destruction of lignin or cellulose with the maximum preservation of hemicellulose compounds. The lowest level of rigidity is achieved when the content of lignin in the fiber is 1.0 ... 1.5 wt.%, hemicelluloses 6.5 ... 7 wt.%. The proposed methods of biomodification using cellulases provide a 1.23-times decrease in the stiffness of the original fabric.

Ключевые слова: льняная ткань, содержание лигнина и гемицеллюлоз, биомодификация, целлюлазы, жесткость на изгиб.

Keywords: linen fabric, lignin and hemicellulose content, biomodification, cellulases, bending stiffness.

Одним из базовых свойств материалов, определяющих возможность создания заданной объемно-силуэтной формы швейных изделий, является жесткость полотен при изгибе [1], [2]. Проблема моделирования упругодеформационных свойств стоит особо остро при создании одежды из льноволокнистых материалов, обладающих высокой природной жесткостью, которую связывают, прежде всего, с присутствием лиг-

нина [3]. Требуется выяснения также и роль гемицеллюлозных соединений, присутствие которых, по мнению биологов [4], обеспечивает растениям устойчивость к действию внешних нагрузок и способствует восстановлению исходного состояния, что позволяет называть их "мышцами" растений, обладающими сократительными свойствами.

Постоянно совершенствуются методы снижения жесткости тканей из целлюлоз-

ных волокон с использованием химических смягчителей, в частности, на основе четвертичных аммониевых соединений и силиконовых препаратов [5], [6]. Однако их применение сопряжено с рядом недостатков, в том числе придаваемое тканям ощущение жирности, низкая биологическая расщепляемость смягчителей и кратковременность эффекта в связи с вымыванием препаратов в процессах стирки [7]. В связи с этим в практику эксплуатации одежды из целлюлозных волокон вошло регулярное применение при стирке умягчающих кондиционеров, в частности, на основе катионных поверхностно-активных веществ [8].

Вместе с тем, известны рекомендации по снижению жесткости льняных материалов за счет воздействия ферментных препаратов на основной волокнообразующий полимер – целлюлозу [9...11]. Важные преимущества ферментативного умягчения перед использованием химических смягчителей заключаются в устойчивости эффекта к последующим стиркам [12], а также в возможности селективного воздействия на нужный вид биополимерных компонентов. Однако в вопросах выбора объекта воздействия между исследователями нет единого мнения.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении зависимости "состав–свойство", позволяющей регулировать уровень жесткости деталей швейного изделия за счет целенаправленного воздействия на биополимерную систему льноволокнистого материала.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовали серую льняную ткань арт. 115 (Оршанский льнокомбинат, Беларусь).

Анализ полимерного состава льняного волокна исходной и модифицированной

ткани проводили согласно [13] путем последовательной экстракции компонентов и фотометрического анализа их окрашенных комплексов с о-толуидином. Пектин извлекали 1%-ным раствором лимоннокислого аммония, гемицеллюлозы – 2%-ным раствором HCl, целлюлозу – 0,1%-ным медно-аммиачным раствором. Содержание лигнина в остатке определяли весовым методом.

Для экстракции лигнина использовали диоксан, варьируя длительность воздействия. Для селективного извлечения гемицеллюлоз ткань обрабатывали раствором гомогенных препаратов эндогалактаназы и эндоксилазы (фирма ICN).

Измерение жесткости образцов ткани (EI, мН·см²) осуществляли консольным методом на приборе ПТ-2 в соответствии с ГОСТ 10550–93.

Обсуждение результатов

Для сохранения благородного серого оттенка исследуемая ткань изготавливается из волокна, подвергнутого только щелочной варке без воздействия окислителей, и характеризуется высоким содержанием лигнина (Л) и гемицеллюлозных соединений (Г): 5,1 и 8,4 мас.% соответственно. При этом материал обладает жесткостью более 85,5 мН·см², что превышает желаемый уровень показателя для большинства изделий мягкопластичных и мягкофиксированных форм. В частности, такая ткань не позволяет получить изделия мягкой формы, прилегающие к телу в области талии или свободно струящиеся ниже бедер.

В табл. 1 приведены результаты анализа жесткости образцов льняной ткани при варьировании остаточного содержания полимерных спутников льняной целлюлозы после экстракционных обработок.

Т а б л и ц а 1

Показатель жесткости ткани (EI, мН·см ²) при содержании в волокне полимеров								
лигнина, мас. %	гемицеллюлозных соединений, мас. %							
	8,4	7,4	7,1	6,5	5,9	4,6	3,4	2,2
5,1	83,51	83,01	83,27	84,34	86,16	92,69	-	-
4,4	54,46	53,95	54,21	55,29	57,11	63,64	-	-
3,5	26,41	25,91	26,17	27,24	29,06	35,59	44,75	56,91
2,7	10,27	9,77	10,02	11,10	12,93	19,46	28,61	40,77
2,1	3,60	3,10	3,35	4,42	6,25	12,78	21,94	34,10
1,5	1,58	1,08	1,33	2,40	4,23	10,76	19,92	32,08
1,1	2,82	2,32	2,57	3,65	5,47	12,00	21,15	33,32
0,2	13,17	12,67	12,92	14,00	15,82	22,35	31,51	43,67

Полученные результаты демонстрируют, что удаление лигнина способствует снижению показателя жесткости льняной ткани. Вместе с тем, глубокая делигнификация, обеспечивающая уровень остаточного содержания лигнина менее 1,5 мас.%, сопровождается нарастанием величины EI.

Примечательно, что при удалении гемицеллюлоз вслед за небольшим снижением величины EI в области $\Gamma = 7...7,5$ мас.% наблюдается существенное нарастание жесткости ткани. При $L = 3,5$ мас.% пони-

жение содержания гемицеллюлоз до 2 мас.% дает 2-кратный прирост показателя EI, что эквивалентно результату увеличения массовой доли лигнина до 4,4 мас.%.

Обработка экспериментальных данных с применением методов регрессионного анализа позволила описать комплексное влияние варьируемых параметров биополимерной системы льняного волокна на контролируемый показатель механических свойств ткани:

$$EI=77,49-19,91L+6,46L^2-15,97\Gamma+1,04\Gamma^2; \quad r=0,973 . \quad (1)$$

Использование биномиальной формы зависимости по каждой переменной в полученной модели отражает различие зон структурной дислокации биополимеров и разнонаправленное их влияние на величину жесткости ткани. Квадратичные члены уравнения (1) отражают роль массивных зон дислокации жесткошитых структур лигнина между элементарными льняными волокнами, а также гемицеллюлоз в поверхностном слое инкрустов. Линейные члены уравнения (1) описывают влияние лигноуглеводного комплекса в структуре элементарного волокна.

Представленные на рис. 1 концентрационные зависимости результирующего вклада полимеров в изменение жесткости (ΔEI) ткани демонстрируют результат разнонаправленного действия лигнина и гемицеллюлоз в разных структурных зонах.

Для лигниновой компоненты квадратичный и линейный переменные в зависимости (1) уравнивают друг друга при $L = 3,0$ мас.%. При дальнейшем уменьшении массовой доли лигнина показатель EI продолжает снижаться за счет преобладающего вклада линейного члена функции. Минимум соответствует значению $L = 1,25$ мас.%, ниже которого величина суммарного вычитаемого вклада лигниновых веществ начинает сокращаться, обращая результат глубокой делигнификации в негативный эффект повышения жесткости ткани.

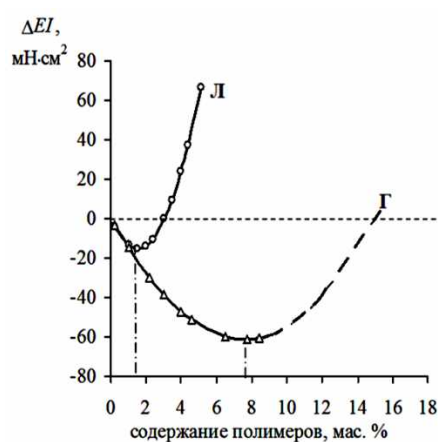


Рис. 1

Представленные результаты демонстрируют важность сохранения гемицеллюлозных соединений в волокне на стадиях обработки льняных тканей. Однако даже при подготовке волокна в наиболее щадящем режиме для производства "серых" полотен достигается оптимум в извлечении полимера из элементарных волокон и из окружающих их связующих веществ.

Расчеты показывают, что квадратичный и линейный члены уравновешивают друг друга за пределами экспериментально исследуемого интервала — при значении $\Gamma = 14,5$ мас.%, когда большая часть гемицеллюлоз дислоцируется в массивных инкрустирующих образованиях на поверхности лубяных пучков. Удаление инкрустов является технологически оправданной стадией разрушения полисахаридных спутни-

ков льняной целлюлозы, но этот процесс практически полностью завершается при подготовке волокна к прядению [13...15]. Кривая Г на рис. 1 наглядно отражает, что при производстве отбеленного и окрашенного ассортимента льняных тканей последующие за щелочной варкой химические обработки (окислительная варка ровницы, белиение тканей) неминуемо приведут к побочному эффекту – повышению жесткости ткани.

Разработанная математическая модель "состав – свойство" позволяет определить технологический оптимум остаточного содержания лигнина и гемицеллюлоз для обеспечения наименьшего уровня жесткости льняной ткани: Л = 1,0...1,5 мас.% и Г = 6,5...7 мас.%. Следовательно, при обосновании субстратной селективности действия компонентов полиферментной композиции для умягчающей отделки льняных материалов важно учитывать, насколько далеко фактическое содержание лигнина и гемицеллюлоз в используемых льняных полотнах от указанного концентрационного оптимума.

Свободный член уравнения (1), по-видимому, можно рассматривать как вклад структурного фактора в величину показателя жесткости ткани, для обозначения ко-

торого вводим символ СФ. Величина структурного фактора отражает роль линейной плотности и степени крутки пряжи, вида переплетения и других параметров текстильного продукта. Вместе с тем, параметр СФ можно использовать для характеристики изменений в структуре элементарного волокна, происходящих в условиях ферментативного воздействия на целлюлозу. С этой целью уравнение (1) преобразуем для вычленения из экспериментально определяемых значений жесткости биомодифицированных образцов ткани ($EI^{эксп}$) составляющих, которые приносятся присутствующими в волокне образованиями лигнина и гемицеллюлоз:

$$СФ = EI^{эксп} + 19,91Л - 6,46Л^2 + 15,97Г - 1,04Г^2. \quad (2)$$

Информативность предложенного критерия отражают представленные в табл. 2 результаты воспроизведения известного способа ферментативного мягчения [9] с применением целлюлазной композиции Целловиридин Г20х (производился Бердским заводом биологических препаратов), а также при обработке четырьмя промышленно выпускаемыми в настоящее время целлюлазными препаратами.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Биопрепарат	Л, мас.%	Г, мас.%	$EI^{эксп}$, мН·см ²	СФ, мН·см ²
0	–	5,1	8,4	83,51	77,49
1	Целловиридин Г20х	5,1	5,9	78,83	70,15
2	Rucolase ZLL (Rudolf Chemie, Германия)	5,1	8,4	73,53	67,50
3	Conzyme TM90 (Sunson group, Китай)	5,1	7,2	67,92	62,51
4	ЦеллоЛюкс А (Сиббиофарм, Россия)	5,1	5,7	78,43	69,19
5	Целлюзим ультра (Энзим, Украина)	5,3	3,3	86,44	51,88

Воздействие целлюлазных препаратов не приводит к снижению содержания лигнина в льняных материалах. Относительная величина показателя может даже повышаться при снижении массы биомодифицированного образца в результате существенной деструкции гемицеллюлозных соеди-

нений, что зафиксировано в случае обработки препаратом Фекорд 2012С.

При обработке ткани Целловиридином Г20х наряду с целевым каталитическим воздействием на целлюлозу наблюдается деструкция гемицеллюлоз. Уменьшение их содержания в льняном материале на 1/3 яв-

ляется неблагоприятным побочным эффектом. Тем не менее, величина $EI^{эксп}$ снижается в 1,06 раза, что обусловлено влиянием целлюлаз на состояние клеточной стенки элементарных волокон.

Препарат Rucolase ZLL благодаря селективному воздействию на микрофибриллы целлюлозы обеспечивает снижение жесткости исключительно за счет изменения величины структурного фактора в 1,15 раза. Вместе с тем, надо учитывать, что промышленные целлюлазные препараты часто содержат в своем составе эндогенные ферменты β -глюканазного и ксиланазного комплексов, катализирующие гидролиз гемицеллюлозных соединений [16]. При этом и целлюлаза (эндо-1,4- β -глюканаза) также способна катализировать деполимеризацию не только макромолекул целлюлозы, но и разветвленных β -глюканов.

Деструкция гемицеллюлоз допустима, как отмечалось, лишь до уровня технологического оптимума по величине их остаточного содержания (6,5...7 мас.%). Это наглядно демонстрирует результат модификации волокнистого материала препаратом Conzyme TM90. В этом случае общее снижение величины показателя $EI^{эксп}$ на 15,59 мН·см² лишь на 4% обусловлено удалением избыточного количества гемицеллюлоз и на 96% определяется уменьшением значения структурного фактора.

Максимальное понижение величины СФ (в 1,5 раза) обеспечивает воздействие препарата Целлюзим ультра. Однако чрезмерная побочная деструкция гемицеллюлозных соединений полностью нивелирует результат структурной модификации целлюлозной основы волокнистого материала.

Уравнение (2) позволяет сопоставить значимость структурного фактора и результирующего влияния массовой доли полимерных спутников целлюлозы в изменение уровня жесткости биомодифицированных материалов. На рис. 2 представлена графическая интерпретация весомости вклада варьируемых параметров (ΔEI) в интегральную величину показателя $EI^{эксп}$ с сохранением нумерации образцов, указанной в табл. 2.

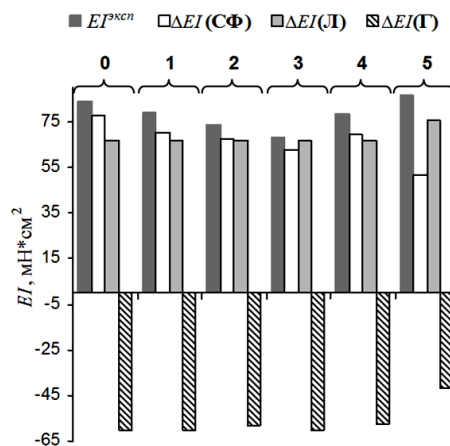


Рис. 2

Из диаграммы следует, что как для исходного образца (0), так и для биомодифицированных образцов 1...4 благоприятное соотношение содержания в волокне полимерных спутников льняной целлюлозы обеспечивает компенсацию усиления жесткости под влиянием лигнина $\Delta EI(Л)$ за счет эластичности структурных участков, формируемых разветвленными макромолекулами гемицеллюлоз $\Delta EI(Г)$. Снижение вклада структурного фактора за счет деполимеризирующего воздействия на целлюлозу $\Delta EI(СФ)$ определяет эффективность изменения результирующего показателя $EI^{эксп}$.

В образце 5 баланс между разнонаправленным действием лигнина и гемицеллюлоз нарушается и, несмотря на эффективное понижение вклада структурного фактора, желаемый эффект умягчения серого льняного полотна достичь не удастся в результате доминирующего влияния присутствующих в материале межволоконных одревеснений.

В Ы В О Д Ы

Режимы подготовки льняного волокна для получения тканых полотен с натуральной серой окраской обеспечивают сбалансированное содержание лигнина и гемицеллюлозных соединений, которое компенсирует их разнонаправленное влияние на уровень жесткости и обеспечивает необходимые деформационные свойства материала для формирования пряжи и тканого полотна. Для снижения жесткости серых тка-

ней возможно использование нескольких альтернативных вариантов.

Величина показателя жесткости понижается при уменьшении содержания в волокне лигнина, что будет сопровождаться ослаблением натуральной окраски волокна. Показана необходимость предотвращения чрезмерного удаления гемицеллюлозных соединений, способствующих проявлению эластичности льняных материалов. Получена корреляционная зависимость для описания влияния полимерных спутников льняной целлюлозы на жесткость льняной ткани при изгибе. Наименьший уровень жесткости достигается при остаточном содержании в волокне лигнина 1,0...1,5 мас.% и гемицеллюлозных соединений 6,5...7 мас.%.

Снижение жесткости льняной ткани может быть достигнуто при регулируемом ферментативном воздействии на основной волокнообразующий полимер. Для оценки действия целлюлаз предложена зависимость, позволяющая вычленить величину показателя "структурный фактор (СФ)", который на 95% определяет уровень жесткости исходной льняной ткани и чувствительно реагирует на деполимеризацию микрофибрилл целлюлозы. Максимально достигнуто снижение величины СФ на 25,6 мН·см², что составляет более 30% от уровня жесткости исходной ткани. При этом важно контролировать нежелательное побочное воздействие ферментных препаратов на гемицеллюлозные соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко С.В., Маринкина М.А., Чагина Л.Л., Смирнова Н.А. Влияние жесткости полотен на силуэтные линии формы элементов швейных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 25...29.
2. Plaut R.H. Formulas to determine fabric bending rigidity from simple tests // Text. Res. J. – 2015, 85. P.884...894.
3. Day A., Ruel K., Neutelings G. et al. Lignification in the flax stem: evidence for an unusual lignin in bast fibers // Planta. – 2005, 222. P. 234...245.
4. Gorshkova T, Chernova T, Mokshina N, et al. Plant 'muscles': fibers with a tertiary cell wall // New Phytol. – 2018, 218, 1. P. 66...72.
5. Teli M.D. Softening finishes for textiles and clothing / In: Roshal P. ed. Functional finishes for tex-

tiles: improving comfort, performance and protection. Publishing Ltd., London, U.K. 2015. P. 123...152.

6. Ogorzalek M, Wasilewski T, Klimaszewska E. Evaluation of fabric softener formulations with high concentrations of cationic surfactant // Tenside, Surfactants, Deterg. – 2019, 56, 2. P. 105...111.

7. Eladwi M.M.T., Kotb R.M. Minimalism as a concept textile finishing and fashion design // IJTFT. – 2015, 5, 4. P. 1...14.

8. Murphy D.S. Fabric softener technology: a review // J. Surfact. Deterg. – 2015, 18. P. 199...204.

9. Головина Л.А., Садова С.Ф., Переволоцкая В.К. Исследование применения ферментных препаратов целлюлолитического действия в заключительной отделке льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 3. С.65...69.

10. Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al. Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // Text. Res. J. – 2022. P. 1...22. <https://doi.org/10.1177/00405175221101018>

11. Yasinskaya N., Lenko K., Skobova N., Lisovsky D. Method for refining terry products using biotechnology // AIP Conference Proceedings. – 2022, 2430, 070004. P. 1...6. <https://doi.org/10.1063/5.0077289>.

12. Namligöz E., Bahtiyari M., Körlü A. et al. Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the kawabata evaluation system // J. Test. Eval. – 2008, 36, 4. P. 384...391.

13. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // Autex Res. J. – 2015, 15, 3. P. 215...225.

14. Алеева С.В., Кокушаров С.А. Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // Российский химический журнал – 2011, 55, 3. P. 46...58.

15. Алеева С.В., Кокушаров С.А. Влияние химических способов подготовки льняного волокна на свойства формируемой пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С.94...98.

16. Грачева И.М., Кривова А.Ю. Технология ферментных препаратов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во "Элевар", 2000.

REFERENCES

1. Boyko S.V., Marinkina M.A., Chagina L.L., Smirnova N.A. The impact of bending stiffness of fabrics on the silhouette line of the elements form of clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, №6. P. 25...29.
2. Plaut R.H. Formulas to determine fabric bending rigidity from simple tests // Text. Res. J. – 2015, 85. P.884...894.
3. Day A., Ruel K., Neutelings G. et al. Lignification in the flax stem: evidence for an unusual lignin in bast fibers // Planta. – 2005, 222. P. 234...245.

4. Gorshkova T, Chernova T, Mokshina N, et al. Plant 'muscles': fibers with a tertiary cell wall // *New Phytol.* – 2018, 218, 1. P. 66...72.
5. Teli M.D. Softening finishes for textiles and clothing / In: Roshal P. ed. *Functional finishes for textiles: improving comfort, performance and protection.* – Publishing Ltd., London, U.K. 2015. P. 123...152.
6. Ogorzalek M, Wasilewski T., Klimaszewska E. Evaluation of fabric softener formulations with high concentrations of cationic surfactant // *Tenside, Surfactants, Deterg.* – 2019, 56, 2. P. 105...111.
7. Eladwi M.M.T., Kotb R.M. Minimalism as a concept textile finishing and fashion design // *IJTFT.* – 2015, 5, 4. P. 1...14.
8. Murphy D.S. Fabric softener technology: a review // *J. Surfact. Deterg.* – 2015, 18. P. 199...204.
9. Golovina L.A., Sadova S.F., Perevolotskaya V.K. Study of the use of enzyme preparations of cellulolytic action in the final finishing of linen fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2008, №3. P. 65...69.
10. Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al. Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // *Text. Res. J.* – 2022. P. 1...22. <https://doi.org/10.1177/00405175221101018>
11. Yasinskaya N., Lenko K., Skobova N., Lisovsky D. Method for refining terry products using biotechnology // *AIP Conference Proceedings.* – 2022, 2430, 070004. P. 1...6. <https://doi.org/10.1063/5.0077289>.
12. Namligöz E., Bahtiyari M., Körlü A. et al. Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the kawabata evaluation system // *J. Test. Eval.* – 2008, 36, 4. P. 384...391.
13. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // *Autex Res. J.* – 2015, 15, 3. P. 215...225.
14. Aleeva S., Koksharov S. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // *Russ. J. Gen. Chem.* – 2012, 82, 13. P.2279...2293.
15. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Effect of chemical ways to prepare flax fiber formed on the properties of yarn // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2015, №6. P.94...98.
16. Gracheva I.M., Krivova A.Yu. *Technology of Enzymatic Preparations.* – Moscow: Elevar, 2000.

Рекомендована НОЦ "Центр компетенций текстильной и легкой промышленности" ИВГПУ. Поступила 12.08.22.

УДК 677.027.45

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_135

МОДИФИКАЦИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ПОД КРАШЕНИЕ АКТИВНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

MODIFICATION OF KNITTED FABRIC FOR DYEING WITH FIBER-REACTIVE DYES

M.V. PASKACHNOVA, M.N. IONKINA, O.V. KOZLOVA, O.I. ODINTCOVA, E.B. SANZHEEVA
M.V. RASKACHNOVA, M.N. IONKINA, O.V. KOZLOVA, O.I. ODINTCOVA, E.B. SANZHEEVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: ovk-56@mail.ru

Катионизация хлопковых материалов позволяет интенсифицировать процесс их крашения за счет сокращения длительности, снижения энергозатрат и негативного воздействия на окружающую среду. При этом достигаются более высокий выход цвета и устойчивость окрасок к физико-химическим воздействиям по сравнению с материалами, окрашенными традиционным способом.

Целью проводимых в работе исследований является повышение качества окрашивания хлопчатобумажного трикотажного полотна активными красителями в результате использования эффективных рецептур предвари-

тельной модификации текстильного материала. Предлагаемые композиции предполагают использование в составе модификаторов катионных соединений, изменяющих заряд волокна с отрицательного на положительный и тем самым повышающих сорбцию и фиксацию анионных активных красителей.

В работе использовались спектрофотометрические методы исследований, позволяющие оценить изменения колористических и прочностных свойств окрасок при осуществлении различных технологий крашения и при использовании различных модификаторов. Показано, что обработка текстильного материала катионными препаратами различных российских компаний позволяет по интенсивности получаемых окрасок и прочности к трению и мокрым обработкам, получить более доступную по цене продукцию высокого качества.

Cationization of cotton materials makes it possible to intensify the dyeing process by reducing its duration, energy consumption and negative impact on the environment. At the same time, a higher color yield and resistance of colors to physical and chemical influences are achieved in comparison with materials dyed in the traditional way.

The purpose of the research carried out in the work is to improve the quality of dyeing of cotton knitted fabric with fiber-reactive dyes as a result of the use of effective formulations for the preliminary modification of textile material. The proposed compositions involve the use of cationic compounds in the composition of the modifiers, which change the charge of the fiber from negative to positive and thereby increase the sorption and fixation of anionic active dyes.

In the work, spectrophotometric research methods were used to evaluate changes in the color and strength properties of colors in the implementation of various dyeing techniques and with the use of various modifiers. It is shown that the processing of textile material with cationic preparations from various Russian companies allows, in terms of the intensity of the resulting colors and the strength to friction and wet treatments, to obtain more affordable high-quality products.

Ключевые слова: трикотажное полотно, активные красители, крашение, катионизация.

Keywords: knitted fabric, fiber-reactive dyes, dyeing, cationization.

Формирование прочной окраски на текстильном материале является одной из главных целевых функций отделочного производства. Особенно это касается активных красителей, применение которых для колорирования текстильных материалов всегда являлось более привлекательным и в колористическом плане, и с точки зрения экологической безопасности готовых изделий.

Главная задача при построении технологического процесса заключается в том, чтобы достигнуть наиболее полной фиксации красителя волокном с образованием

прочной ковалентной связи. Если говорить о процессе крашения активными красителями, то он бывает непрерывным, периодическим, и полунепрерывным. Первый больше подходит для хлопчатобумажных тканых материалов, второй и третий незаменимы при крашении трикотажных полотен. Наиболее уязвимым местом в технологии "активного крашения" является достижение прочности получаемых окрасок, которые чаще зависят как от качества самих красителей, так и от технологии их использования.

Наиболее примечательный химический прием интенсификации процесса колорирования хлопчатобумажных тканей активными красителями состоит в применении четвертичных аммониевых соединений для предварительной обработки тканей [1...3]. Этот процесс называется катионизацией. На рис. 1 приведена схема превращения целлюлозы в модифицированную целлюлозу [4].

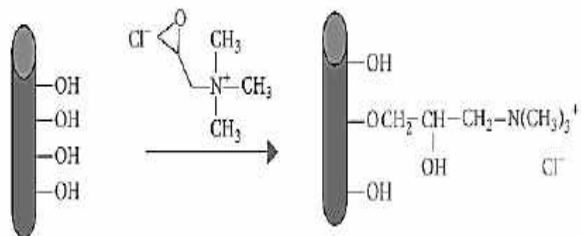


Рис. 1

Химическая модификация целлюлозы может проводиться для:

- придания поверхности целлюлозы устойчивого положительного или отрицательного заряда;
- изменения поверхностной энергии целлюлозы с целью повышения ее совместимости с гидрофобным матриксом в случае использования ее как наполнителя в нанокompозитах.

Эффективно используются в последние десятилетия в текстильной, целлюлозно-бумажной, косметической и других отраслях промышленности катионные крахмалы с третичными amino- и четвертичными аммониевыми эфирными группами [5], а также производные крахмала, содержащие эфирные катионные группы (амино-, аммониевые, сульфониевые, фосфониевые и др.) [6], [7]. В последнее время в текстильной промышленности применяются такие высокомолекулярные препараты катионного типа, как четвертичное соединение полиаммония Гидрокол ONE (Rudolf chemie), четвертичная соль модифицированного полиалкиламина, не содержащего формальдегид Верификс TP/35 (Kem-Pa-Tex). Разработанные на их основе технологии дают возможность проводить процесс крашения активными красителями более эффективно,

повышая интенсивность окраски при одновременном снижении концентрации красителя в плюсовочном растворе и сохранении прочности окраски на традиционном уровне [8].










Нельзя не отметить экологически негативное воздействие сильно окрашенных и соленых вод в промышленных стоках. А, следовательно, методы, устраняющие или уменьшающие потребность в электролитах во время окрашивания, имеют немаловажное значение [1...4].

Многочисленные исследования были направлены на улучшение средства анионных красителей к хлопчатобумажной ткани за счет введения положительно заряженных частиц на хлопок. Полное истощение красильной ванны может быть достигнуто на катионизированном хлопке без добавления соли и при нейтральном pH; при этом отмечается улучшение окрашивания волокон по сравнению с обычными методами окрашивания. Катионизирование хлопка позволяет окрасить его за меньшее время, используя меньше энергии и с меньшим негативным воздействием на окружающую среду, достигаются более высокий выход цвета и стойкость окрасок к физико-химическим воздействиям по сравнению с хлопком, окрашенным традиционным способом [8].

Целью проводимых в работе исследований является повышение качества окрашивания хлопчатобумажного трикотажного полотна активными красителями в результате применения эффективных рецептов модифицирующей обработки с использованием катионных соединений, изменяющих заряд волокна с отрицательного на положительный и тем самым повышающих сорбцию и фиксацию активных красителей.

Технология крашения с предварительной катионизацией включала двукратное плюсование трикотажного полотна водной композицией катионного препарата с промежуточным отжимом, сушку при температуре 60°C, пропитку красильной композицией на основе активного красителя, запаривание при 100°C в течение 2 мин и классическую для активных красителей промывку с применением ПАВ.

Таблица 1

Концентрация катионника	Образец	Цветовые характеристики			
		K _s	a	b	L
Исх.		6,3	-4,80	-32,15	43,03
Кауст. 10г/л		7,8	-7,43	-32,72	48,10
Кауст. 20г/л		8,4	-6,81	-29,39	44,03
Кауст. 30г/л		8,8	-5,37	-31,77	41,21
К-2 10г/л		7,6	-7,84	-34,11	46,98
К-2 20г/л		8,6	-5,90	-33,77	41,12
ВПК-402 10г/л		8,0	-4,60	-35,25	44,18
ВПК-402 20г/л		8,5	-6,2	-32,56	47,2
ВПК-402 30г/л		8,6	-5,01	-32,83	43,48

Проведены исследования и анализ эффективности применения катионных соединений различного химического строения (катамин АБ, катапав, алкапав, каустамин, препарат К-1, К-2) в процессе модифицирования хлопчатобумажного трикотажа под крашение активными красителями, из

которых выбраны наиболее эффективные по колористическим показателям. Выявлено (табл. 1 – колористические показатели окрасок при использовании красителя активного остазина синего С-Р), что обработка катионными соединениями повышает показатели интенсивности окраски в

1,5...2,5 раза. Спектрофотометрическим методом оценены колористические показатели – интенсивность окраски $k|s$, светлота L и координаты цвета a, b (в системе CIELab).

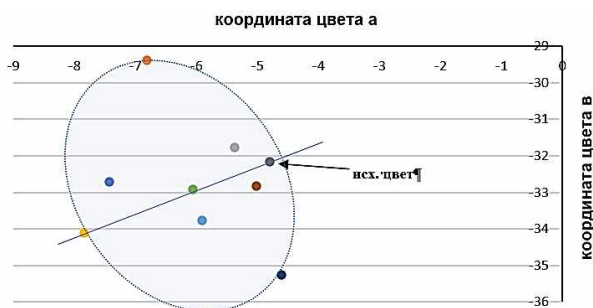


Рис. 2

На рис. 2 (цветовой график a, b в системы CIELab), где отмечены местоположения полученных с использованием остазина синего С-Р цветов (табл.1), окрашенных по технологии с предварительной модификацией трикотажа) на цветовом графике a, b отмечены местоположения цветов, полученных при крашении по технологии без предварительной модификации текстильных материалов и с ее проведением. Как можно видеть из данных таблицы и графика, на примере остазина синего С-Р неко-

торые образцы существенно отличаются от исходного не только интенсивностью окраски, но и оттенками, т.е. цветовым тоном, что не позволяет дать гарантию получения точного цвета и не делает технологию воспроизводимой с исходными (эталонными) цветами. Поэтому при выборе модификаторов следует ориентироваться на те, которые не отличаются от исходного цвета цветовым тоном, т.е. расположены на одной прямой с исходным цветом. В данном случае наиболее близкие по цветовому тону к аналогу являются окраски, полученные с модификатором К-2 в концентрации 10 г/л и ВПК-402 в концентрации 20 г/л, которые дают отличие только в интенсивности окраски.

В основе эффективности действия препаратов катионного типа лежит доказанная в электрохимических исследованиях зависимость между степенью катионизации, изменением дзета-потенциала и сорбционными свойствами целлюлозного волокна. Положительный заряд целлюлозного волокна обуславливает формирование электростатического притяжения между волокном и отрицательно заряженными молекулами красителя.

Таблица 2

Наименование показателя	Классическая технология крашения с электролитом	Технологии с предварительной катионизацией отечественными препаратами		
		Каустамин	Препарат К-2	ВПК-402
Устойчивость окрасок к стирке 40°C, баллы	4/4/4	4/4/4	5/4/4	5/4/5

Технические результаты крашения трикотажного полотна, модифицированного катионными препаратами различных российских компаний, по интенсивности получаемых окрасок, прочности к трению и мокрым обработкам (табл. 2 – устойчивость окрасок, полученных при крашении трикотажного полотна остазином синим С-Р), подтвердили получение более доступной по цене продукции высокого качества.

ВЫВОДЫ

Полученные в работе результаты показали эффективность применения катион-

ных препаратов К-2 и ВПК-402 в качестве модификаторов трикотажного полотна перед окрашиванием активными красителями по непрерывной технологии крашения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалова, М.В., Сазонова Л.В. Влияние предварительной обработки тканей в растворах четвертичных аммониевых соединений на интенсивность окраски активными красителями // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 6. С. 75...78.
2. Gorkem G., Arzu Y., Ozan A. and Omer S., Cationized natural dyeing of cotton fabrics with Corn Poppy (*Papaverhvaeas*) and investigation of antibacterial activity // Asian J. Chem. – 25(15) (2013). P. 8475...8483.

3. Гранатович Н.Н., Тараканов М.К., Кричевский Г.Е. Разработка технологии эффективной подготовки текстильных материалов под цифровую печать активными красителями с применением катионных препаратов //Текстильная промышленность. – 2006, спецвыпуск №7.

4. Кричевский Г.Е. Нанокристаллическая целлюлоза. Новый сверхпрочный наноматериал широкого использования //Научно-просветительский журнал НБИКС. – 2021, №14 (5) С.13...41.

5. Solarek D.B. Cationic starches, in Modified starches: Properties and uses. //Ed. O.B. Wurzburg. CRC Press. Inc. Boca Raton. – Florida. 1986. P.113...129.

6. Nachtergaele W. // Starch/Starke. – 1989. V. 41. P. 27...31.

7. Shufen Zhang, Wei Ma, Benzhi Ju. Continuous dyeing of cationised cotton with reactive dyes //Coloration Technology. – 121(2005). P.183...185

8. Куваева Е.Ю., Одинцова О.И., Мельников Б.Н., Андреев К.Л. Использование новых ПАВ для упрочнения окрасок тканей, колорированных прямыми красителями // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 1. С.54...57.

REFERENCES

1. Konovalova, M. V., Sazonova, L. V. Effect of tissue pretreatment in solutions of quaternary ammonium compounds on the intensity of coloring with active dyes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya

Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1998, № 6. P. 75...78.

2. Gorkem G., Arzu Y., Ozan A. and Omer S., Cationized natural dyeing of cotton fabrics with Corn Poppy (*Papaverrhoeas*) and investigation of antibacterial activity // Asian J. Chem. – 2013. 25(15). P, 8475...8483.

3. Granatovich N.N., Tarakanov M.K., Krichevsky G.E. Development of technology for effective preparation of textile materials for digital printing with active dyes using cationic preparations // Textile industry. – 2006, № 7.

4. Krichevsky G.E. Nanocrystalline cellulose. New heavy-duty nanomaterial of wide use // Scientific and educational journal NBICS. – 2021, № 14 (5) P.13...41.

5. Solarek D.B. Cationic starches, in Modified starches: Properties and uses. //Ed. O.B. Wurzburg. CRC Press. Inc. Boca Raton. – Florida. 1986. P.113...129.

6. Nachtergaele W. // Starch/Starke. 1989. V. 41. P.27...31.

7. Shufen Zhang, Wei Ma, Benzhi Ju. Continuous dyeing of cationised cotton with reactive dyes //Coloration Technology. – 121(2005). P.183...185.

8. Kuvaeva E.Yu., Odintsova O.I., Melnikov B.N., Andreev K.L. The use of new surfactants to strengthen the color of fabrics tinted with direct dyes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2005, № 1. P. 54...57.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 12.08.22.

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_141

DIGITAL TWINS FOR WETSUIT DESIGN

**ВИРТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОСТЮМОВ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ПЛАВАНИЯ***

DIGITAL TWINS FOR WETSUIT DESIGN

XINZHOU WU, V.E. KUZMICHEV

У. СИНЬЧЖОУ, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ

**(Wuhan Textile University, School of Fashion, P.R.China,
Ivanovo State Polytechnic University, Russia)**

**(Уханьский текстильный университет, Китай,
Ивановский государственный политехнический университет, Россия)**

E-mail: wkd37@list.ru

This paper presents the method of digital twins of female bodies generating and the simulation of the wetsuit with the help of virtual reality technologies. The first step includes the obtaining of a virtual clone of female bodies with 3D body scanning technology and the exploration of soft tissue deformation under an influence of diver postures and hydraulic pressure. The second step involves the use of CLO3D to conduct dynamic deformation tests on the wetsuit digital twin and the body digital twin. The experimental results show that the digital twins based on real data transformation are feasible and practical, and the process of establishing digital twins by means of 3D body scanning technology is valid and accurate.

В статье описан метод генерации цифровых двойников женских фигур и совершенствования конструкций костюмов для подводного плавания с помощью технологий виртуальной реальности. Первый этап включает получение цифрового клона женской фигуры с помощью технологии бодисканирования и исследование деформаций мягких тканей под влиянием динамических поз и водяного давления. Второй этап включает применение CLO3D для симуляции динамических деформаций виртуальных двойников костюма и фигуры. Экспериментальные результаты подтвердили реалистичность и практическую ценность цифровых двойников, полученных с помощью обра-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-47-370006.

ботки реальных данных, а также применимость и точность процесса получения цифровых двойников фигур с помощью технологии бодисканирования.

Keywords: wetsuit, virtual twin, 3D body scanner, digital clone, simulation.

Ключевые слова: костюм для подводного плавания, виртуальный двойник, 3D-сканер фигуры, цифровой клон, симуляция.

1. Introduction

In recent years, the application of simulation technology in clothing research and wearing performance has greatly increased [1]. On the other side, due to 3D body scanning technology has been applied in some clothing simulation researches to get accurate measurements, to generate “scanatars”, extract the cross-sections, and analyze key body parts [2]. 3D scanning technology can also be used for obtaining dynamic anthropometrical data, which is especially important for developing design of clothing with special purposes, high demands on functionality and fit [3]. The morphology and dynamic postures of the human digital twin will directly affect the virtual performance of compression clothing. For example, the digital clones are automatically created by 3D scanning in static [4], and then processed and optimized by complex calculation methods in dynamic [5], [6]. Some researchers studied the deformation of human bodies which are presented by the digital clone or avatar by analyzing some swimming and dynamic postures to improve the design of compression sportswear [7], [8].

At present, less research is about wetsuits simulation. Only a few scholars make researches related to wetsuit design, devoted to the patterns, textile material, simulation, etc. S. Kim [9] made the investigation about the relationship between the wearing condition and the size systems of different brands. M.M. Naglic et al. [10] studied wetsuit patterns obtained directly from female bodies. J.H. Choi [11], [12] made the study about patterns development, production, and consumer satisfaction of male wetsuits in their 30's. To make pattern blocks, all researches used the body measurements measured in standard standing posture, which is not related to wearing conditions.

As for the 3D simulation of wetsuit pattern design, the common way was derived from 3D surface flattening method, which involves the garment construction by drawing and creating patterns directly on a digital twin surface and separation of discrete 3D surfaces as well as transformation into 2D cutting parts [13]. M.M. Naglic [14], [15] scanned the bodies on the land in six postures, such as raising hands and squatting, and designed a virtual diving suit by means of Optitex software. T.H. Staal [16] used CLO software to test male wetsuit in terms of fitting effect and material strain, but without an optimization and comfort evaluation of the patterns.

In this study, based on 3D human body scanning technology, multiple types of digital body twins (DBT) are established in virtual reality in terms of morphological features and body deformation under dynamic compression. Then, through the analysis of body measurements and wetsuit structure, the digital wetsuits twin (DWT) were obtained to improve the wearing fit in dynamic. This process of creating a digital twin (DT) can be applied in wetsuit design and evaluation.

2. Body measurements

96 females (aged from 18 to 27) volunteered to participate in the body scanning test. All measurements were taken under standard ISO 7250, the total number of measurements in static and dynamic postures was 36. The heights are 147.3...173.6 cm, bust, waist, and hip girths were 74.0...94.2 cm, 56.2...90.9 cm, and 79.0...104.8 cm respectively. To show that 96 female subjects are enough for this exploration, the SPSS was used to test the normality of data. After investigation of distribution diagram of bust girth and other measurements, it was proved that measurements obey to normal distribution with the Cronbach's α is 0.974.

All representative measurements were obtained by means of Human Solutions Vitus smart XXL scanner and contact manual type on the floor), and the partial measurement of the model is carried out by the Anthroscan software.

The body dimensions which were changing in dynamic postures underwater were measured by hand type along the anthropometrical lines tracking on the body surface [17].

3 Digital twin of human body

The primary digital clones were obtained by direct scanning, and the digital body twins DBT were created by means of CLO and MakeHuman software. Then the primary DBT was imported to 3ds Max to further modify the soft tissue in accordance with its changes in dynamic positions, and finally, the deformed DBT with real dynamic postures was constructed.

To design the deformable digital twin of the body, two databases consisting of the same body measurements in static and dynamic positions were formed. After comparing the pair of static and dynamic measurements, the coordinates of anthropometrical points of initial and deformable clones were found to parameterize the soft tissue changing. Because the breast area is more sensitive to pressure, the deformation of the breast was simulated in 3ds Max through editing the “mesh” with coordinates. Fig. 1,a shows the scheme of bust area deformation under the influence of the dynamic posture, Fig. 1,b shows both digital clones: when the arms are down in black mesh (left) and when the arms are raised in green mesh (right).

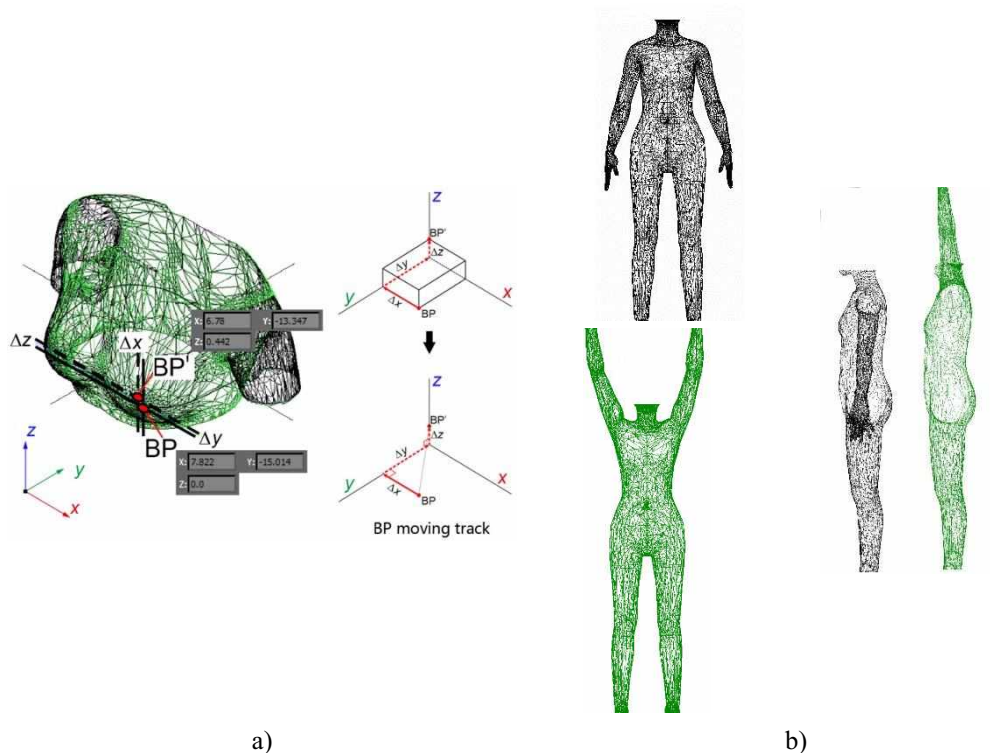


Fig. 1

As shown in Fig. 1-a, the coordinates of the initial bust point is (0, 0). When the arms raising, the position of BP changed in three directions x , z , and y and the average distances are $\Delta x = -1.042$ cm, $\Delta y = 1.667$ cm, and $\Delta z = 0.442$ cm. The parallelepiped in the red line illustrates the moving track of BP in three-dimensional space.

Similar studies were done for other anthropometrical points – neck front FNP and waist front FWP, neck back BNP and waist back BWP - to determine the tilt degree. Fig. 2 shows the morphology adjustment of completed deformable clone under the soft tissue changing in dynamic.

As Fig. 2 shows, both sagittal planes of torsos - initial and deformable - are overlapped in crotch point Cr. Based on measurement data, the Δf , Δb , FNP-FWP, and BNP-BWP illustrate the upper torso tilts backward after raising arms. The length of the front line increases by 10.6%, the back line decreases by 15.5%. Therefore, the DR can be accurately controlled by adjusting the four key points and the length of measurements.

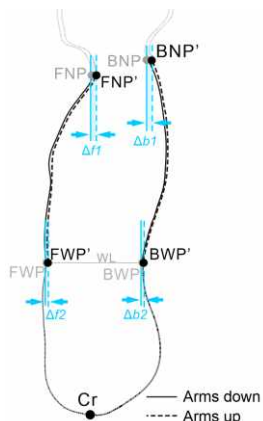


Fig. 2

4. Digital twin of female wetsuit

4.1. Virtual stitching and fitting

To construct a digital wetsuit twin (DWT), the patterns of wetsuit were imported into CLO. To develop a method of design, a new

approach based on multi anthropometric data was proposed [18].

The commonly used materials have been selected (the maximum elongation under 500 cN/cm is 30.2%, and the shrinkage is about 3%). Due to the particularity of wetsuit material, the properties of multi-layer material cannot be directly imported in CLO, so the default value of “elastic knitted material” is selected to conduct the simulation. The thickness is set to 3 mm. Two tools – “tack” to fix a wetsuit on DRB and “sewing” to sew wetsuit pieces – were applied to conduct try on.

Fig. 3-a shows the optimized wetsuit pattern [18]. According to the female body characteristics, a new design method of wetsuit is proposed. For example, the bust segmentation line is above BL in a certain range, and the abdominal segmentation line is below WL in a certain range in accordance with the established morphological changes under the compression of suit, the swimming position and the hydraulic pressure. The best segmentation and line configuration were determined through a series of tests, and the direction of material cutting is changed to improve the tight degree at the swimming position.

Fig. 3-b shows the developed patterns with negative ease, the segmentation lines exist at the bust, side, and shoulder areas.

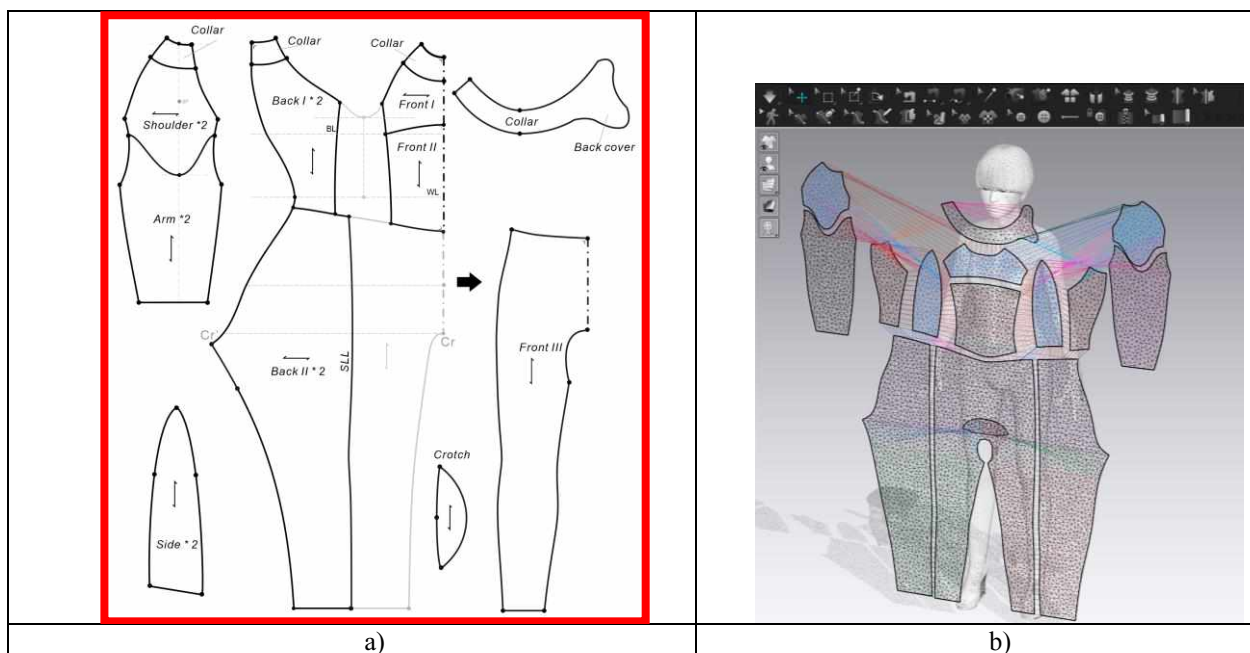


Fig. 3

The appearance of the virtual wetsuit has good fit performance. Besides, the objective evaluation was carried out through two measured factors - the real and virtual pressure and the material strain. The real pressure were measured above water by means of the sensor in combination with manual measurement.

The pressure value is an important factor, will be changed during diving and should be kept in a certain range. Therefore, the fitness can be judged by calculating the value ΔP

$$\Delta P = 100 (P_{au} - P_{ad}) / P_{ad}, \quad (1)$$

where ΔP is a relative difference between the virtual pressure measured in static and dynamic postures, %; P_{au} is the virtual pressure when arms up, kPa; P_{ad} is the virtual pressure value when arms down, kPa.

Besides, the virtual material strain should be checked whether it exceeds the reference value of real material mechanical elongation (KES), or the designed ease.

Figure 4 shows in virtual reality the material performance of wetsuit – pressure maps and material strain - and try on on the real body when arms down (a) and when arms up (b).

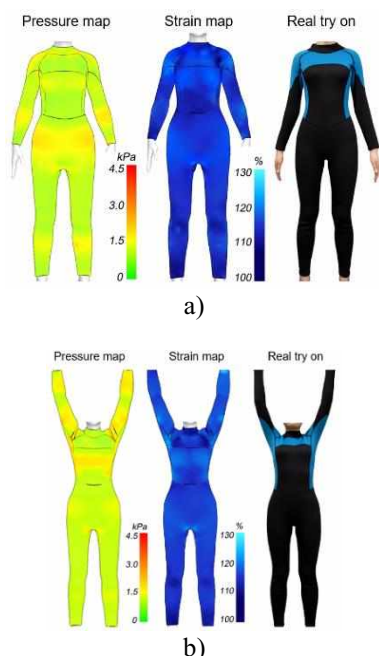


Fig. 4

As shown in Fig. 4, it can be seen from the pressure map that the pressure values are in

a reasonable and moderate pressure range. The light green colors indicate the weaker pressure values generated by CLO, on the contrary, the yellow or orange mean that the pressure values are stronger than green. The ΔP at the critical body parts (SP, BP, and side) are -17.3%, 1.3%, and 16.2% respectively. When arms down, the average virtual pressure P_{ad} is 1.89 kPa, and the real pressure P_{ad} is 1.65 kPa; when arms up, the average virtual pressure P_{au} is 1.75 kPa, and the real pressure P_{au} is 1.60 kPa. The deviation between real and virtual is less than 0.24 kPa, which means the virtual and real compression has little difference. It can be concluded that the objective compression experience of the digital twin can be used to predict real pressure performance.

Then, through the measurement results of multiple areas, the material strain values (original is 100%) change from 112.8% (wrist) to 125% (armpit). So, the pressure value and material strain are reasonable.

Moreover, the appearance fitness can be directly observed through the virtual try on in Fig. 4. The wetsuits are very tight without folds.

The simulation results show that the digital replicas of wetsuits and bodies are rational and valid, and can obtain reasonable pressure and material strain in dynamic and static, obviously improve fit performance.

CONCLUSION

Based on human body scanning data, the digital twin "wetsuit - female body" system was created by 3D software in terms of both deformation processes of bodies and textile composite materials. The digital twin was generated based on the measurements and characteristics of real human body in dynamic postures. This digital twin can adapt to the real human body shape in static and dynamic and can complete the design through virtual technology.

The wetsuit design was completed and evaluated by virtual technologies with a reasonable pressure range and good fit performance.

The virtual results will help wetsuit designers respond to rapid modification, evaluation, and omit actual repetitive manufacture

works for optimizing pattern design, enhancing productivity, and further improving customer's wearing experience.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen G. Research on Virtual Simulation Technology of Men's Shirt for Personalized Customization // *Textile Industry and Technology*. – 2018, 47(11). P.29...31.
2. Daanen H.A. 3D body scanning. Automation in garment manufacturing // Cambridge: Woodhead Publishing/ – 2018, 1. P. 237...252.
3. Geršak, J. The complex design concept for functional protective clothing / J. Geršak, M. Marčič // *Tekstil*, 2013, 62(1-2). P. 38...44.
4. Wang J., Li X. A review of the research on the application of digital clothing based on 3D measurement // *Textile Herald*. – 2011(11). P.82...84.
5. Meixner C., Krzywinski S. Development of a method for an automated generation of anatomy-based, kinematic human models as a tool for virtual clothing construction // *Computers in Industry*. – 2018, 98. P.197...207.
6. Vuruskan A., Ashdown S.P. Modeling of half-scale human bodies in active body positions for apparel design and testing // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2017, 29(6). P. 807...821.
7. Tanaka H., Shimana T., Matsuda A. 3-dimensional stress calculation of competitive swimwear using anisotropic hyperelastic model considering stress softening // *Procedia Engineering*. – 2014, 72. P. 261...266.
8. Matsuda A., Tanaka H., Aoki H. et al. 3-dimensional joint torque calculation of compression sportswear using 3D-CG human model // *Procedia Engineering*. – 2015, 112. P. 40...45.
9. Hur H.J., Kim S., Lee J. Investigation of wetsuit wearing condition and size system for product development—comparison between domestic brands and imported brands // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*. – 2015, 39(3). P. 408...418.
10. Naglic, M.M., Petrak S., Stjepanović Z. Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models // *Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. – Lugano, Switzerland, 30 Nov.-1 Dec. 2016. P. 302...313.
11. Choi J.H. Development of the men's scuba diving suit pattern by using 3D body-scanned data // *Journal of the Korean Home Economics Association*. – 2011, 49(4). P. 105...113.
12. Choi J.H., Jeong J.A. The production condition and consumer satisfaction of men's scuba diving suits // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*. – 2009, 33(11). P. 1683...1695.
13. Petrak S., Naglić M.M. et al. Sizing and fit for swimsuits and diving suits // *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*. – Woodhead Publishing, 2020. P.255...287.

14. Naglić M.M., Petrak S. et al. Analysis of dynamics and fit of diving suits // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017, 254, №.152007.

15. Naglić M.M., Petrak S. et al. Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models // *In 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. – 2016, 1. P.302...313.

16. Staal T., Huysmans T. et al. A 3D Anthropometric Approach for Designing a Sizing, System for Tight Fitting Garments // *2nd International Comfort Congress*. – August 29-30 2019, Delft, 2019. P.1...6.

17. Wu X., V.E. Kuzmichev Study on the body girth dynamic size for wetsuit ease design // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. – 2018, 459(1):012085. doi:10.1088/1757-899X/459/1/012085

18. Синьчжоу У., Кузьмичев В.Е. Алгоритм проектирования костюма для подводного плавания // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, №3.

REFERENCES

1. Chen G. Research on Virtual Simulation Technology of Men's Shirt for Personalized Customization // *Textile Industry and Technology*. – 2018, 47(11). P.29...31.
2. Daanen H.A. 3D body scanning. Automation in garment manufacturing // Cambridge: Woodhead Publishing/ – 2018, 1. P. 237...252.
3. Geršak, J. The complex design concept for functional protective clothing / J. Geršak, M. Marčič // *Tekstil*, 2013, 62(1-2). P. 38...44.
4. Wang J., Li X. A review of the research on the application of digital clothing based on 3D measurement // *Textile Herald*. – 2011(11). P.82...84.
5. Meixner C., Krzywinski S. Development of a method for an automated generation of anatomy-based, kinematic human models as a tool for virtual clothing construction // *Computers in Industry*. – 2018, 98. P.197...207.
6. Vuruskan A., Ashdown S.P. Modeling of half-scale human bodies in active body positions for apparel design and testing // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2017, 29(6). P. 807...821.
7. Tanaka H., Shimana T., Matsuda A. 3-dimensional stress calculation of competitive swimwear using anisotropic hyperelastic model considering stress softening // *Procedia Engineering*. – 2014, 72. P. 261...266.
8. Matsuda A., Tanaka H., Aoki H. et al. 3-dimensional joint torque calculation of compression sportswear using 3D-CG human model // *Procedia Engineering*. – 2015, 112. P. 40...45.
9. Hur H.J., Kim S., Lee J. Investigation of wetsuit wearing condition and size system for product development—comparison between domestic brands and imported brands // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*. – 2015, 39(3). P. 408...418.

10. Naglic, M.M., Petrak S., Stjepanović Z. Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models // Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies. – Lugano, Switzerland, 30 Nov.-1 Dec. 2016. P. 302...313.
11. Choi J.H. Development of the men's scuba diving suit pattern by using 3D body-scanned data // Journal of the Korean Home Economics Association. – 2011, 49(4). P. 105...113.
12. Choi J.H., Jeong J.A. The production condition and consumer satisfaction of men's scuba diving suits // Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles. – 2009, 33(11). P. 1683...1695.
13. Petrak S., Naglić M.M. et al. Sizing and fit for swimsuits and diving suits // Anthropometry, Apparel Sizing and Design. – Woodhead Publishing, 2020. P.255...287.
14. Naglić M.M., Petrak S. et al. Analysis of dynamics and fit of diving suits // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017, 254, №.152007.
15. Naglić M.M., Petrak S. et al. Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models // In 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies. – 2016, 1. P.302...313.
16. Staal T., Huysmans T. et al. A 3D Anthropometric Approach for Designing a Sizing, System for Tight Fitting Garments // 2nd International Comfort Congress. – August 29-30 2019, Delft, 2019. P.1...6.
17. Wu X., V.E. Kuzmichev Study on the body girth dynamic size for wetsuit ease design // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2018, 459(1):012085. doi:10.1088/1757-899X/459/1/012085
18. Xinzhou U., Kuzmichev V.E. Algorithm for designing a diving suit // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 3.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 21.07.22.

УДК 687:069.5

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_147

BLOCK PATTERN GENERATION OF THE SCANNED HISTORICAL GARMENTS

ГЕНЕРИРОВАНИЕ РАЗВЕРТОК СКАНИРОВАННОЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ОДЕЖДЫ*

A.YU. MOSKVIN, M.A. MOSKVINA, V.E. KUZMICHEV

А.Ю. МОСКВИН, М.А.МОСКВИНА, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ

(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Ivanovo State Polytechnical University)

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Ивановский государственный политехнический университет)

E-mail: wkd37@list.ru

This study presents a new method for generating block patterns of historical costumes. The method uses 3D scanning and UV mapping to extract flat patterns of historical garments from their 3D models. UV mapping is a technology that allows the coordinates of points on a 3D model's surface (X, Y and Z) to be translated into a flat coordinate system (U and V). UV maps of a 1900 frock coat were generated and transformed into block patterns. The block pattern of the coat was compared to a one made by using traditional methods in 2D and 3D environments. This exploration allows modern computer technologies to be applied for studying and reconstructing historical costumes, as well as for obtaining new research insights valuable for dress history and cultural heritage.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-47-370006.

В статье представлен новый метод генерирования разверток сканированных исторических костюмов. Метод основан на UV-преобразовании сканированных поверхностей для извлечения 2D-чертежей деталей исторической одежды из их 3D-моделей. UV-преобразование – это технология, которая позволяет переводить координаты точек на поверхности 3D-модели (X, Y и Z) в плоскую систему координат (U и V). UV-карты сюртука 1900 года сгенерированы и преобразованы в чертежи конструкции. Сгенерированный чертеж сюртука сопоставлен с полученными традиционными методами в 2D- и 3D-среде. Данное исследование позволяет применять современные компьютерные технологии для воссоздания исторических костюмов, а также для получения новых исследовательских данных, ценных для истории костюма и культурного наследия в целом.

Keywords: digital twin, avatar, UV-mapping, historical costume, 3D scanning, digitization.

Ключевые слова: цифровой двойник, аватар, UV-преобразование, сюртук, платье, 3D-сканирование, цифровизация.

Flattening of historical garments surface into sewing pattern blocks is an important step in the reconstruction [1]. Traditional way of pattern extracting from ready-to-wear clothes includes the measurements of shell layer, coping the shape of the pieces and its drawing on the graph paper [2...4]. This time-consuming work is usually done manually, which often leads to poor accuracy of the patterns obtained. Instead of real garments this method could be transformed into virtual reality due to application of three-dimensional (3D) scanning technology for generating the digital twins (DTs)

of the historical costumes [5...8]. DTs is the virtual copy of real object containing millions of points with its XYZ coordinates; for this reason, the reproduction of garment outer surface in virtual reality could be done more accurately. The digitalization of historical garment provides a starting point for extracting the block patterns from scanned clone of garment automatically or semi-automatically and using computer technologies. This method allows to operate with historical heritage in safety manner.

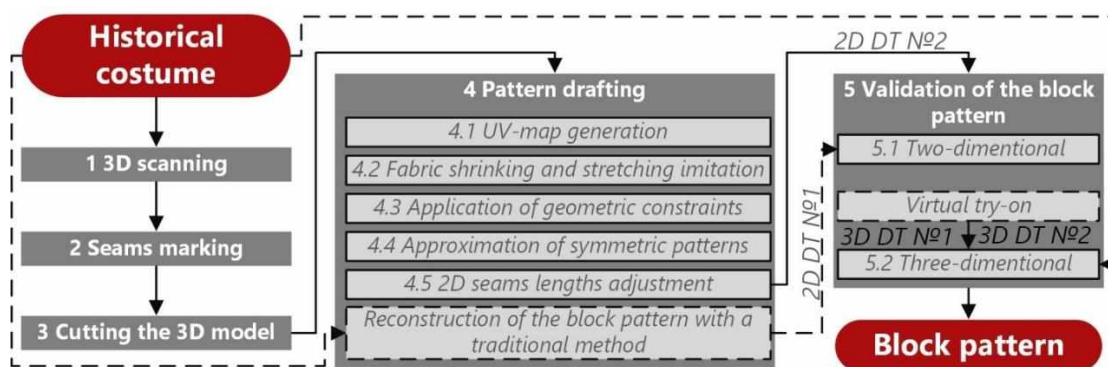


Fig. 1

The aim of this study is to develop a computer method of automated extraction of block patterns from the scanned DTs of historical garments by using the UV-mapping technology. This method will allow to transform the

3D garment shape consisting from several pieces into the 2D image. This method includes next steps: marking seams, dividing the mesh into parts as garment pieces and laying out the triangles of each piece on a flat surface.

To minimise distortion of the map, special functions of software are used by relaxing vertices and unifying the distances between them.

Fig. 1 shows the flowchart of the developed method of automatic sewing patterns generation.

The developed method includes five steps. Firstly, the real costume should be scanned to get 3D DT as the cloud of points. During steps 2 and 3, the scanned DT should be prepared for application of UV-mapping polygonal modelling tools. Step 4 "Pattern drafting" includes UV-map generation and its transformation into a flat patterns combining as shell block (2D DT №2). In the final step, the accuracy of the 2D DT №2 is evaluated twice: firstly, by its comparison with the patterns done by means of traditional hand method (control patterns 2D DT №1); secondly, by generating of virtual costumes 3D DT №1 and 3D DT №2 by using 2D DT №1 and 2D DT №2 respectively.

The research has been done with VITUS Smart LC3 3D scanner (Human Solutions), Anthroscan software, 3dsMax software, Auto CAD, and Clo3D.

There search object was carried out on the frock coat (Fig. 2-a) from the Collection of Garment Design Department of Ivanovo State Polytechnic University. The coat with typical

structure dated from the first decade of the XXth century, is well preserved and has no marks of repair. The coat consists of the front, side, back, skirt, collar and two-piece sleeves with cuffs. The coat was made of a dense plain-dyed woolen broadcloth (density $\approx 400 \text{ g/m}^2$, thickness $\approx 0.9 \text{ mm}$) and has a cotton lining of the front, the back (density $\approx 190 \text{ g/m}^2$, thickness $\approx 0.34 \text{ mm}$) and the sleeves (density $\approx 105 \text{ g/m}^2$, thickness $\approx 0.21 \text{ mm}$). The front is strengthened with a linen canvas (density $\approx 170 \text{ g/m}^2$, thickness $\approx 0.34 \text{ mm}$). In this study the pattern of shell fabrics were reconstructed.

The control pattern block 2D DT №1 was made by hand by means of laying the coat on the flat surface and copying the contours of each piece by special adhesive paper.

The 3D DT and UV maps were generated by using 3dsMax software. The process includes four steps, which are as follows.

1. Generating of 3D DT (Fig. 2-b). The coat was put on a human body (height is 176.7 cm, chest girth is 90.2 cm, waist girth is 75.4 cm). The shirt, vest and trousers dating to the same time-period were put underneath the coat. To scan and to measure the 3D DT, VITUS Smart LC3 3D scanner (Human Solutions) and Anthroscan software were used.

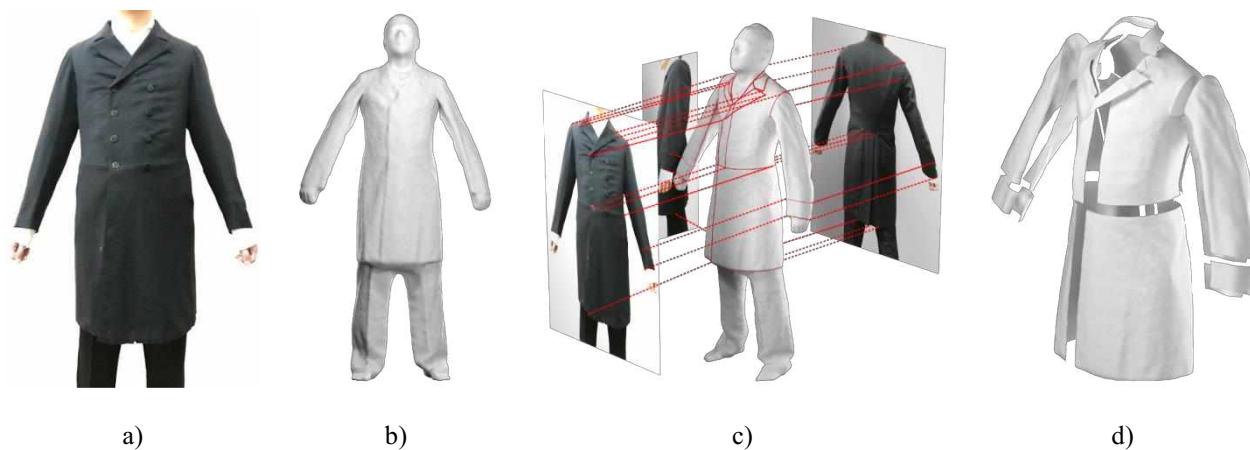


Fig. 2

2. Marking of the visible coat seams (Fig. 2-c). Three photographs of the coat (front, side and back views) were placed around the 3DDT. The seams on the photographs were marked by using "spline" command and projected onto the surface of the 3D DT by means of "geometry projection" script.

3. Virtual cutting of the 3D DT along the seams and divided into front, sleeves, skirt, and cuffs (Fig.2-d).

4. Drafting of the patterns. The patterns 2D DT №2 were extracted from the 3D DT and prepared for future modification through the following procedure. The UV maps of 10

pieces were generated by using the “unwrap UVW” modifier, “planar projection” tool and

“relax until flat” command (Fig. 3-a).

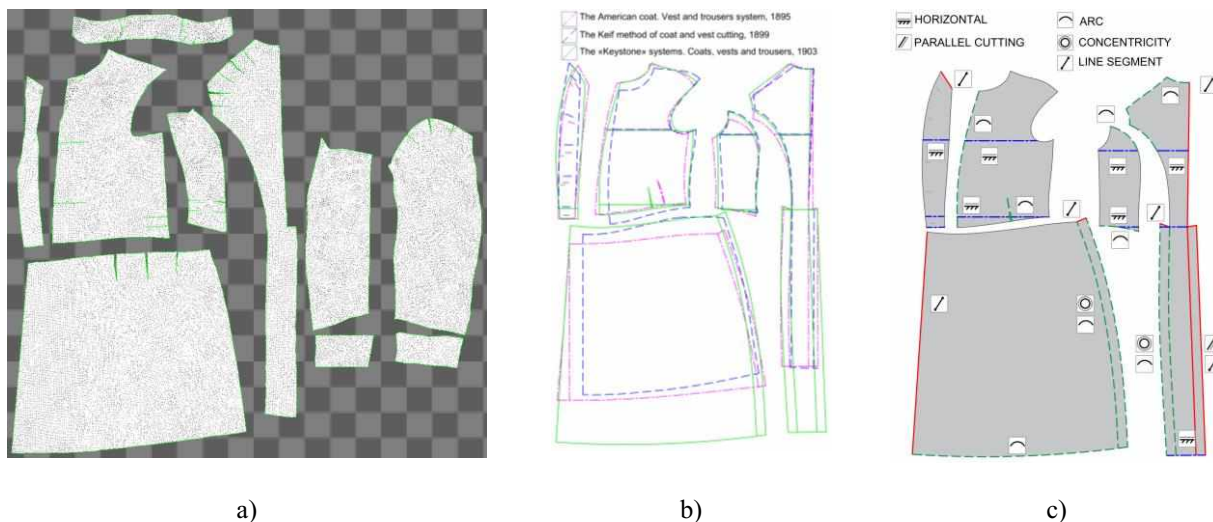


Fig. 3

Historical manuals of pattern cutting were analyzed in terms of determination of the areas in which fabrics were intentionally shrunk and stretched during ironing to shape the coat, on the one side, and typical configuration of edges and internal lines, on the other side [9]. The edges and internal lines of several historical patterns were determined in five possible geometric constraints - straight horizontal (chest and waist internal lines), arcs, concentricity, parallel cutting, and line segment (Fig. 3-b,c). Based on these results, the contour lines of UV-maps of extracted pieces and the corresponding edges of the pattern pieces were corrected and converted into straight lines and arcs by using the “brush” and “quick transform” commands (Fig. 3-c).

The left and right patterns (central front, front, side back, back, skirt) were overlapped and averaged by the approximation of straight lines and NURBS curves.

The seam lengths were measured in the 3DDT to find the similar lengths of 2D-patterns edges. Eq. (1) was used to calculate the edges lengths:

$$L_{2D} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{i3D} + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3}{n}, \quad (1)$$

$$\Delta L_{1min} \geq \Delta L_1 \geq \Delta L_{1max}$$

where L_{2D} is the edge length of pattern, n is the number of corresponding seams in 3D DT (one - for asymmetrical pieces such as front and

skirt, two - for symmetrical pieces such as sleeves, cuffs and lapels), L_{3D} is the length of 3D DT seam, ΔL_1 is the value by which the edge was shrunk or stretched during ironing, ΔL_2 is the overall size of pleats in the seam. ΔL_3 is the shrinkage of fabric caused by puckering during the sewing, ΔL_{lmin} and Δl_{lmax} are the extreme (maximum) values of shrinking and stretching respectively (see [5]).

The validation of developed method has been done twice: firstly, by comparison of flat patterns, and secondly, by comparison of virtual DT of coats generating from the both patterns.

Fig.4 shows the comparison of flat patterns. The both patterns were drafted and compared in AutoCAD. The UV map of each piece cut along the edges (dashed wedges in Fig. 4) and the “relax until flat” command was applied once again.

The both compared patterns were overlapped and compared in 26 zones of lapel (#1), front (#2-5), back (#6-8, 24), skirt (#10,11,25,26), upper sleeve (#15,18), down sleeve (#14,16), upper cuff (#1 own cuff (#17), collar (#12,13). As Fig.4 shows, 2D DT №1 is not identical to 2D DT №2 in hatched areas: the minimum difference between the both patterns is 3.3 cm² (in #12) and maximum difference is 40 cm² (in #20). T major reasons of the deviations are the next:

1. the incorrect shape of 3D DT in armpit areas due to the 3D scanner VITUS Smart LC3

and Anthroscan software were developed for whole-body scanning and full height avatar modelling, and not for digitization clothing;

2. the errors during the seams projecting from the photographs.

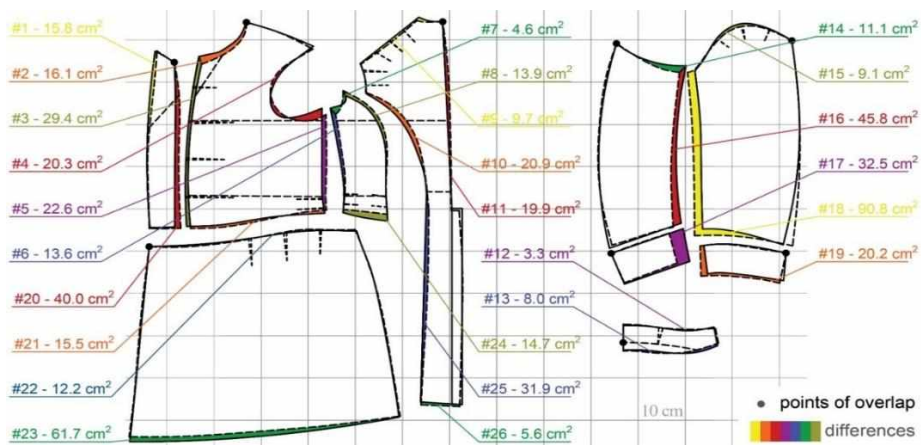


Fig. 4

To solve this problem and minimize the error by capturing the position of the seams directly, other scanning devices can be applied, for example, to get color textures of clothing.

2D DT №1 and 2 were exported into Clo3D software for generating two 3D PT №1 and №2 respective the following digital textile materials were chosen from Clo3D library as Table 1 shown.

Table 1

Materials	Name	Number in Clo3D library	Content	Density, g/m ²	Thickness, mm
Shell fabric	Coatweight Twill	W002	wool	345	0.84
Paddings	Linen canvas	H001	linen	173,39	0,36
Lining of front and back	Cotton Gabardine	C001	cotton	189	0,35
Lining of sleeves	Cotton Poplin	C003	cotton	105	0,21

Fig. 5 shows both virtual twins. The contours of both 3D virtual twins and the real coat were

overlapped (Fig. 5-c) and the deviations between their contours were measured (Fig. 5-d).

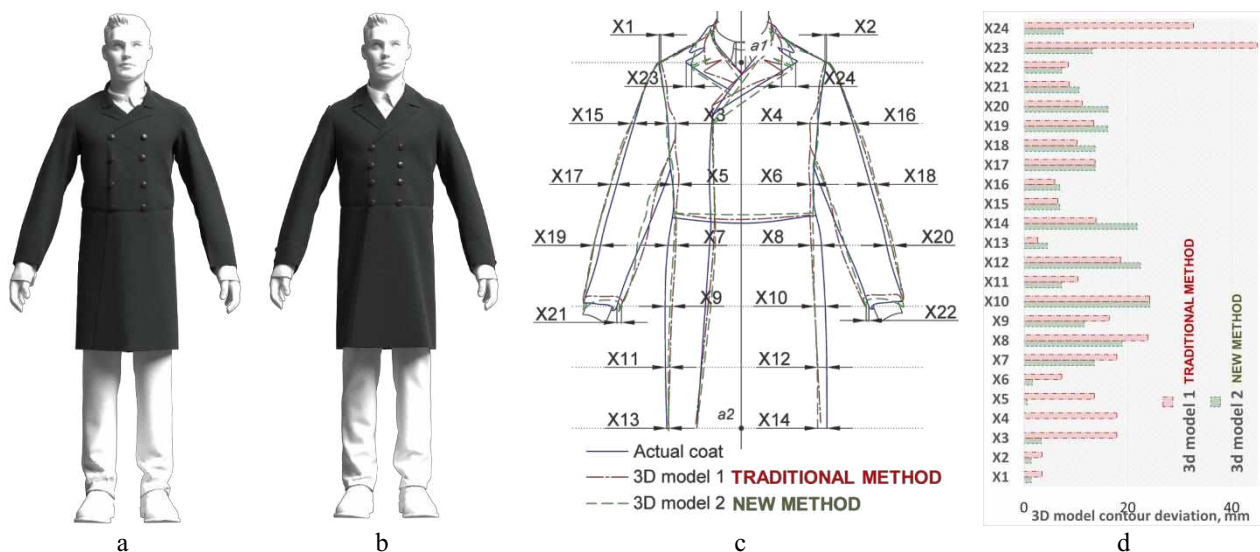


Fig. 5

The average deviation was 14.4 mm for 3D DT №1 and 10.1 mm in 3D DT №2. The lower value c deviation between the 3D DT №2 and the real coat means that the coat was reconstructed more adequately.

Firstly, 3D digital twins of historical men coat used to reconstruct the flat patterns. The results show that 3D scanning technology can be effectively applied for generating the patterns directly from virtual clone. The accuracy of the patterns extracted from 3D virtual clone is comparable to the ones made by hand using a traditional method of clothes surface. Thus, 3D scanning and UV mapping technologies joining together open the new way for digitization of cultural heritage and studying historical costumes from an engineering standpoint.

CONCLUSIONS

A new method of patterns generating from 3D digital twin of historical costumes was developed. The method uses three technologies - 3D scanning, polygonal modelling and UV-mapping - to unwrap the outer surface of clothes and reconstruct the flat patterns.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Arnold J.* Patterns of fashion 1: english women's dresses and their construction 1660-1860. – London: Drama Publishers, 2005.
2. *Waugh N., Woodward M.* The cut of women's clothes, 1600-1930. – New York: Theatre Arts Books, 1968.
3. *Mikhaila N., Malcolm-Davies J.* The Tudor tailor: reconstructing sixteenth-century dress. – London: Costume and Fashion Press, 2006.
4. *Thursfield S.* The Medieval tailor's assistant. Making common garments 1200 -1500. – Carlton, Bedford: Ruth Bean, 2001.
5. *Baskaran A.* (2016). 3D scanning Icons from the MAAS Collection. [Электронный ресурс] Retrieved from <https://maas.museum/inside-the-collection/2016/10/21/3d-scanning-icons-from-the-maas-collection/> (дата обращения 28.06.2021).
6. *Knott B.* (2019). Adventures in 3D scanning: New models launched on Sketchfab. [Электронный ресурс] Retrieved from <https://www.vam.ac.uk/blog/caring-for-our-collections/adventures-in-3d-scanning-new-models-on-the-va-sketchfab-page> (дата обращения 05.07.2021).
7. 3DA Solutions. (2018). Shining 3D: 3D technology enables to capture Chinese historical scenes. [Электронный ресурс] Retrieved from <https://3dadept.com/shining-3d-3d-technology-enables-to-capture-chinese-historical-scenes/> (дата обращения 05.07.2021).
8. *Loscialpo F.* From the physical to the digital and back: Fashion exhibitions in the digital age // International Journal of Fashion Studies. – 2016, №3(2). P.225...248.
9. *Kuzmichev V., Moskvina A., Moskvina M.* Virtual reconstruction of historical men's suit // AUTEX Research Journal. – 2018, №18(3). P. 281...294.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 10.03.22.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДЕЖДЫ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЛИЦЕЯ

DEVELOPMENT OF CLOTHING MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR LYCEUM STUDENTS

Х.Ф. МАМЕДОВА¹, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ², Ф.А. МАМЕДОВ³, В.А. ИСМАИЛОВ³

KH.F. MAMEDOVA, S. SH. TASHPULATOV, F.A. MAMEDOV, V.A. ISMAYILOV

(Гянджинский государственный университет Азербайджана, Республика Азербайджан,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
Азербайджанский технологический университет, Республика Азербайджан)

(Ganja State University of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
Azerbaijan Technological University, Republic of Azerbaijan)

E-mail: ssht61@mail.ru

В статье представлены результаты исследования по оптимизации конфекционирования компонентов материалов пакета и технологии изготовления изделия на основе постановки задачи по разработке одежды стабильного ассортимента для учащихся лицея при требуемом уровне качества, производительности и рентабельности. Изложена методика выбора оптимального пакета материалов и технологии изготовления одежды. По итогам работы получены следующие результаты: предложены варианты рационального пакета материалов требуемой устойчивости формы и уровня качества, а также наиболее эффективный вариант технологического процесса изделия и запланированной производительности труда для данной категории ассортимента одежды.

The article presents the results of a study on optimizing the packaging of the components of the package materials and the manufacturing technology of the product based on the formulation of the problem of developing clothes of a stable assortment for lyceum students at the required level of quality, productivity and profitability. A technique for choosing the optimal package of materials and technology for making clothes is outlined. As a result of the work, the following results were obtained: options for a rational package of materials of the required form stability and quality level, as well as the most efficient version of the technological process of the product and the planned labor productivity for this category of clothing assortment were proposed.

Ключевые слова: оптимальная технологическая последовательность, операция, изготовление одежды, динамическое программирование, дискретная нелинейная зависимость, оптимизационная задача, суммарная стоимость, технологическая обработка, производительность, затраты времени.

Keywords: optimal technological sequence, operation, clothing manufacturing, dynamic programming, discrete non-linear dependence, optimization problem, total cost, technological processing, productivity, time consumption.

Одним из источников повышения эффективности производства является применение научно обоснованных методов проектирования изделий и технологических процессов их изготовления, предусматривающее рациональное решение конструкции изделия, используемых материалов, методов технологической обработки, оборудования [1...3].

С развитием научно-технического прогресса в швейной промышленности значительно расширился ассортимент применяемых материалов, увеличилась номенклатура оборудования, средств механизации и автоматизации [4...6].

Это привело к расширению вариативности принятия решения и выбору наиболее рациональных способов и методов изготовления заданного ассортимента. При этом с учетом множества возможных вариантов изготовления для выбора эффективных из них целесообразно использование специальных математических методов на основе комплексного подхода к решению задачи по разработке изделий и технологических процессов их изготовления.

В данной статье рассматривается Методика решения задачи выбора рациональной технологии изготовления одежды для учащихся лица на основе применения математических оптимизационных моделей [7].

Качество одежды для учащихся лица, согласно требованиям, наряду с другими может быть улучшено по следующим показателям:

- эстетическим, отвечающим требованиям потребителя к внешнему виду изделия в период его жизненного цикла;

- показателям устойчивости к внешним воздействиям (стиранию, светотепловому старению), определяющим стабильность приданной формы (обеспечивается за счет рационального формирования компонентов пакета материалов) в процессе эксплуатации, уходу (химической чистки и влажно-тепловой обработки), а также жесткости пакета;

- эргономическим, характеризующим удобство в носке и прочность, а также обеспечение комфорта.

Реализация требований потребителя тре-

буемого уровня качества изделия должна быть осуществлена с учетом обеспечения необходимого уровня производительности труда. Практически на предприятиях нет одинаковых технологических процессов, изготавливающих один и тот же ассортимент одежды. Такое положение приводит к различным затратам труда и материалов [6], [8].

При проектировании технологического процесса производства такой одежды необходимо обеспечить выполнение следующих технико-экономических показателей (1):

$$P_n = O - C_n \geq [P_o] > P_c \quad (1)$$

или

$$P_n = \frac{P_n}{C_n} \cdot 100 > P_c,$$

где P_n – прибыль после внедрения после мероприятий; $[P_o]$ – средний размер прибыли, который намечено получить в результате реализации мероприятий; P_c – прибыль до осуществления проектируемых мероприятий; O – оптовая цена изделия; C_n – себестоимость изделий при проектируемой технологии; P_c – рентабельность до осуществления проектируемых мероприятий; P_n – рентабельность после внедрения мероприятий.

Вместе с тем, затраты времени на изготовление изделия не должны превышать устанавливаемого (нормируемого) показателя, например, среднеотраслевого значения для рассматриваемого вида изделий или значения, устанавливаемого плановым заданием для конкретного предприятия:

$$T_n \leq [T_o], \quad (2)$$

где T_n – затрата времени при проектируемой технологии; $[T_o]$ – нормируемый уровень затраты времени при изготовлении изделий.

Выполнение требований потребителя производства в части улучшения качества при запланированной производительности труда швейных изделий приводит к необходимости:

- совершенствования состава пакета материалов изделия для обеспечения требуемых параметров и формоустойчивости этой одежды;

- использования рационального конструктивного решения и технологии изготовления одежды для учащихся лицея.

Таким образом, задача выбора оптимального значения стоимости и трудоемкости в указанных интервалах в общем случае может быть сведена к компромиссу между значениями C и T . Оптимизационная задача

$$\sum_{i=1}^n A_{ij}C_{ij} \rightarrow \text{тип при ограничении } \sum_{i=1}^n A_{ij}T_{ij} < [T_0], \quad (3)$$

где C_{ij} – стоимость изготовления i -го варианта j -й операции;

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } i - \text{й вариант} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^n A_{ij}T_{ij} \rightarrow \text{тип при ограничении } \sum_{i=1}^n A_{ij}C_{ij} \leq [C_0], \quad (4)$$

где T_{ij} – затрата времени на изготовление i -го варианта j -й операции.

Выбор критерия определяется конкретными условиями предприятия. Например, для предприятия, где острая нехватка рабочей силы, оптимизационную задачу целесообразнее решить, исходя из условия (4), с учетом технических средств. Очевидно, что оптимизация изготовления всего изделия достигается при условиях соответствующего (оптимального) подбора значений себестоимости и трудоемкости обработки на каждой операции технологического процесса производства изделия. В частности, оптимизационная задача для Бакинской швейной фабрики может быть сведена к нахождению затрат времени, не превышающих требуемого, т.е. 1,62 ч, а себестоимости – минимальная задача решена методом динамического программирования [2], [6...8]. Для реализации этого метода было составлено функциональное рекуррентное уравнение:

$$f_k(t) = \min [C_{ik}(t_{ik}) + f_{k-1}(T_{\delta_{\text{оп}}} - t_k)], \quad (5)$$

$$T_{\delta_{\text{оп}}} = \sum_{j=1}^k t_{ij},$$

синтеза технологического процесса изготовления изделия в целом из допустимых вариантов обработки может быть записана в двух вариантах (текстовых). Если оптимизировать технологию изготовления изделия в условиях массового производства по критерию затрат C , то условие оптимизации можно записать в виде:

Если в качестве критерия оптимальности принимается затрата времени на изготовление изделия, то условие оптимизации переписывается в виде:

где $i = f(k)$ $k = 2, 3, \dots, N$; N – номер выбранного варианта в каждой операции; k – количество технологических операций; j – номер операции; t_{ij} – время i варианта j -й операции; $T_{\delta_{\text{оп}}}$ – ограничения по времени технологического процесса; $f_1(k)$ – зависимость стоимости от времени в первой операции.

Уравнение (5) является функциональным уравнением метода динамического программирования. Эта зависимость рекуррентна, т.к., зная $f_1(t)$, из (5) получаем $f_2(t)$.

Затем из этого же соотношения $f_3(t)$ и т.д. до последней операции $f_k(t)$. Распределение $f_k(t)$ является искомой зависимостью $C = f_k(t)$, по которой можно построить оптимальную технологическую последовательность операций при любой из двух поставленных задач.

Рассмотрим для примера задачу выбора оптимальной технологии изготовления одежды для учащихся лицея. Примеры технологической последовательности, размытые варианты исполнения и обработки деталей швейных изделий представлены в табл. 1 (выбор оптимальной технологии изготовления одежды для учащихся лицея) [3].

Таблица 1

Номер операции	Наименование технологической операции	Варианты	Стоимость, руб	Затраты времени
1	Дублирование полочки клеевой прокладки	1	97,701	30
		2	85,948	32
		3	79,737	36
2	Выстегивание бортовой прокладки	1	39,255	28
		2	50,174	30
		3	31,105	32
3	Сутюживание бортовой прокладки	1	1,398	70
		2	2,471	40

$$N=3 \cdot 3 \cdot 2=18,$$

где N – общее количество вариантов перебора.

Прямой ход

Таблица 2

Шаг 1

$F_1(T)$	97,701	85,948	79,797
T	30	32	36

Все комбинации вариантов

Таблица 3

Шаг 2

$F_2(T)$	136,956	125,203	118,992	147,875	136,122	129,911	128,806
T	58	60	64	60	62	66	62
$f_2(T)$	117,053			110,842			
T	64			68			

(Целесообразные варианты)

$f_2(T)$	136,956	125,203	117,053	110,842
T	58	60	64	68

Таблица 4

$F_3(T)$	138,354	126,601	118,451	112,240	139,427	127,674	119,494
T	128	130	134	128	98	100	104
$F_3(T)$	113,313						
T	108						

(Целесообразные варианты)

Таблица 5

$F_3(T)$	139,427	127,674	119,494	113,313	112,240
T	98	100	104	108	138

Обратный ход оптимальной цепочки вариантов

Таблица 6

Номер цепочки вариантов	T_{ij}	C_{ij}	Номер вариантов операции		
			1	2	3
1	98	139,427	1	1	2
2	100	127,674	2	1	2
3	104	119,494	3	1	2
4	108	113,313	3	3	2
5	138	112,240	3	3	1

Для выявления оптимальной технологической последовательности $f(T)$ формируем табл. 2...5, в которые внесены суммы затрат времени на выполнение всех операций по обработке деталей.

В соответствии с уравнением (5) цифрами показан обратный ход оптимальный цепочки вариантов (табл. 6).

Графически эта зависимость показана на рис. 1, где для каждого из пяти членов оптимальной последовательности (табл. 6) отложены значения t и C . Полученный график показывает дискретную нелинейную зависимость между стоимостью и временем обработки детали.

По зависимости (t) может быть определена оптимальная технология и выбраны соответствующие материалы, конструкции, методы их обработки и оборудование.

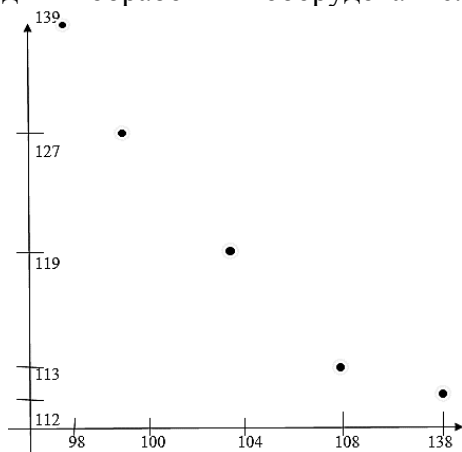


Рис. 1

При заданном числе технологических операций и вариантах изготовления на каждой операции расчет рациональной технологической последовательности состоит из сотен тысяч арифметических и логических действий. Поэтому для решения этой задачи необходимо использование ЭВМ [6], [7].

Для расчета оптимальной технологической последовательности изготовления пиджака для учащихся лицея была составлена программа "DINAMICA", блок-схема алгоритма представлена на рис. 2 (блок-схема интерактивного алгоритма определения оптимальной технологической последовательности изготовления одежды для учащихся лицея).

С использованием описанной программы была проведена оптимизация технологической последовательности изготовления одежды для учащихся лицея. В качестве исходных данных были приняты технологии изготовления пиджака для учащихся лицея различными вариантами. При этом большинство операций технологического процесса выполнялось в двух-трех вариантах.

Каждый вариант изготовления изделия отличался, как правило, по конструктивным особенностям, видам применяемых материалов, технологической обработки и оборудованию.



Рис. 2

Оптимизация технологического процесса осуществлена с учетом следующих ограничений: $C_n \leq 32,6^x T_n \leq 5832$, где x – себестоимость без учета стоимости материалов верха и подкладки.

Для возможности управления технологическим процессом и его анализа построен график зависимости $C(T)$ на основании параметров оптимальных технологических последовательностей (рис. 3 – график зависимости суммарной стоимости от трудоемкости изготовления изделия).

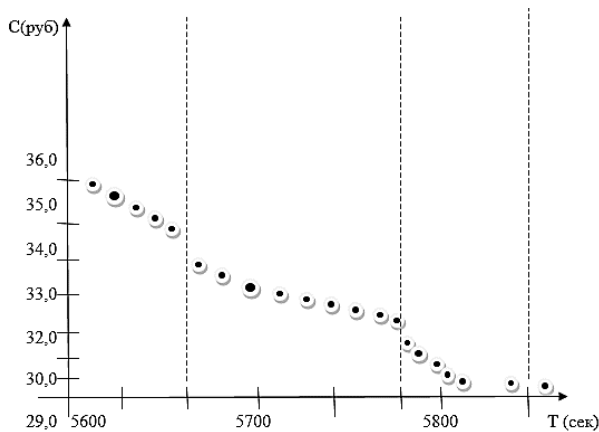


Рис. 3

Каждый из вариантов, который, отвечая предъявленным требованиям уровня качества, отличается по технологическим показателям.

График $C(T)$ показывает дискретную нелинейную зависимость, поэтому соединение точек произведено лишь условно для наглядности.

Первая оптимальная технологическая последовательность вариантов операций позволяет изготовить изделие на 5614 с со стоимостью 35,4 руб. последняя за 5879 с и 29,1 руб. соответственно.

Исследование зависимости суммарной стоимости технологического процесса от времени, затрачиваемого на изготовление изделия, показывает, что всю область изменения функции можно разбить условно на три зоны.

Первая зона может быть названа зоной высокой производительности труда. В эту зону входит совокупность точек с аргументами, лежащими в пределах $5600 \leq T_1 < 5660$.

В этой области изделия изготавливаются с применением самых перспективных материалов, прогрессивной технологии и высокопроизводительного оборудования (как правило, дорогостоящего). Работа в данной области рекомендуется предприятиям, имеющим большой объем выпуска продукции, за счет которого обеспечивается необходимая рентабельность. Работа в этой области допустима только при хорошей и четкой организации производства, стабильной работе оборудования, так как выход из строя и замена одного оборудова-

ния другим может существенно повлиять на параметры технологического процесса.

Вторая зона – зона со средней производительностью технологического процесса, которая лежит в пределах $5660 \leq T_2 < 5720$.

Эта зона может быть рекомендована предприятию, располагающему более дешевым, по сравнению с первой зоной, оборудованием [5]. Рекомендуется предприятиям, имеющим средний объем выпуска продукции. Примером можем служить Бакинская швейная фабрика им. А. Бакиханова, где изготавливаются 50...60 тыс. единиц изделий в год.

Третью зону можно характеризовать как зону наиболее низкой стоимости изготовления, эта зона лежит в пределах $5720 \leq T_3 < 5879$.

Область относительно невысокой производительности труда и предназначена для предприятий, специализированных на выпуске продукции малыми сериями.

Технологические процессы, входящие в данную зону, отличаются от технологических процессов предыдущих зон более высокой трудоемкостью изготовления изделия. Вместе с тем, при работе в этой зоне при малых сериях может быть обеспечена более высокая рентабельность. Повышение производительности труда здесь может быть обеспечено применением приспособлений малой механизации и другой технологической и организационной оснастки.

Таким образом, выбор технологического процесса изготовления пиджака для учащихся лица определяется уровнем организации производства на конкретном предприятии.

Задаваясь величиной стоимости продукции и производительности труда, можно на основании сделанного расчета и графика $C(T)$ (рис. 3) определить варианты технологического процесса, приводящие к выбранному сочетанию суммарных величин стоимости и времени при требуемом уровне качества.

ВЫВОДЫ

1. Совершенствование организации производства швейных изделий на основе ресурсосберегающих технологии имеет большое

значение для повышения эффективности производства. Как показывает анализ специальной литературы, важным направлением в развитии теории и практики применения ресурсосберегающих технологий изготовления одежды стабильного ассортимента является рациональное использование материальных и трудовых ресурсов.

2. Впервые разработаны и теоретически обоснованы основные принципы создания (проектирования) и производства высококачественной одежды для учащихся лица в условиях ограничений на материальные и трудовые ресурсы, обеспечивающие запланированный уровень производительности труда и рентабельности изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Д.А., Струченков В.И. Динамическое программирование в прикладных задачах, допускающих сокращение перебора вариантов // Russian Technological Journal. – 2020;8(4):96-111. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-202Q-8-4-96-111>

2. Беллман Р., Энджел (Ангел Е.). Динамическое программирование и уравнения в частных производных. – 1974.

3. Черунова И.В., Чуян А.И., Стефанова Е.Б., Стенькина М.П., Сирота Е.Н., Давыдова Ю.А., Лесникова Т.Ю., Ковалева А.А., Коринтели А.М., Черунов П.В. Опыт управления инновациями для новых конструкторско-технологических разработок в промышленности. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2019.

4. Черунова И.В., Колесник С.А., Ташпулатов С.Ш. Научно-технологические разработки на службе экологии человека. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2015.

5. Sanjoy Dasgupta, Christos H. Papadimitiion, Umesh Vazizaki Alqorithmg-1-e изд.-McGzaw-HLEE Science /Engineering/ Math. – 2006. С. 336. ISBN 0073523402

6. Ташпулатов С.Ш. Высокоэффективная ресурсосберегающая технология формообразования и ВТО деталей одежды. – Ташкент: "Фан ва технология" (Наука и технология), 2007.

7. Гончаров Е.Н., Ерзин А.И., Залюбовский В.В. Исследование операций. Примеры и задачи. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2005.

8. Максимов Д.А. Моделирование производственного сегмента предприятия с учётом риска производственной программы // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020, №6-2. С.262...270. URL: <https://vaael.ru/ru/article/view7idM192> (дата обращения: 15.03.2022).

REFERENCES

1. Karpov D.A., Struchenkov V.I. Dynamic Programming in Applied Problems Allowing Reduction in the Search of Variants // Russian Technological Journal. – 2020;8(4):96-111. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-202Q-8-4-96-111>

2. Bellman R., Angel (Angel E.). Dynamic programming and partial differential equations. – 1974.

3. Cherunova I.V., Chuyan A.I., Stefanova E.B., Stenkinina M.P., Sirota E.N., Davydova Yu.A., Lesnikova T.Yu., Kovaleva A.A., Korinteli A.M., Cherunov P.V. Experience in innovation management for new design and technological developments in the industry. – Novocherkassk: Lik LLC, 2019.

4. Cherunova I.V., Kolesnik S.A., Tashpulatov S.Sh. Science-intensive technologies in the service of human ecology. – Novocherkassk: Lik LLC, 2015.

5. Sanjoy Dasgupta, Christos H. Papadimitiion, Umesh Vazizaki Alqorithmg-1st ed.-McGzaw-HLEE Science/Engineering/ Math. – 2006. P. 336. ISBN 0073523402

6. Tashpulatov S.Sh. Highly efficient resource-saving technology of shaping and WTO of clothing details. – Tashkent: "Fan wa technology" (Science and technology), 2007.

7. Goncharov E.N., Erzin A.I., Zalyubovsky V.V. Operations research. Examples and tasks. – Novosibirsk: Novosibirsk State University, 2005.

8. Maksimov D.A. Modeling the production segment of an enterprise taking into account the risk of the production program // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2020, № 6-2. P.262...270. URL: <https://vaael.ru/ru/article/view7idM192> (date of access: 03/15/2022).

Поступила 10.08.22.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИСТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**IMPROVEMENT OF SPECIAL-PURPOSE CLOTHING MODELS
FOR FLAW DETECTORS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

З.Р. ГРИГОРЬЕВА, ОЧОА БЕНИТЕС, О.Н. БУДЕЕВА

Z.R. GRIGOREVA, OCHOA BENITES, O.N. BUDEEVA

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(Ufa State Petroleum Technological University)

E-mail: zarema_grigoreva@inbox.ru; vivis_a_13@hotmail.com; olga.budeeva@yandex.ru

Одежда специального назначения требует особого внимания к условиям ее эксплуатации. Профессия дефектоскописта сопряжена с множеством рисков, которые должны быть учтены при проектировании одежды. С целью проектирования оптимальных изделий даны рекомендации по выбору текстильных материалов российских производителей в зависимости от условий эксплуатации. Проведены динамические антропометрические эксперименты и рассчитаны величины наибольших приростов при движении, учет которых в проектируемых изделиях улучшает эргономические показатели качества одежды. Рассчитаны минимально-необходимые величины прибавок на свободное облегание для размера 182-96-80.

Clothing for special purposes requires special attention to the conditions of its operation. The defectoscopist profession involves many risks that must be taken into account during clothing design. For the purpose of optimal products design, recommendations about textile material choice from Russian manufacturers were given, depending on the operating conditions. Dynamic anthropometric experiments were carried out and the values of the largest increments during movement were calculated, the inclusion of which in the designed products improves the ergonomic indicators of the quality of clothing. The minimum required allowances for free fit for size 182-96-80 have been calculated.

Ключевые слова: дефектоскопист, спецодежда, нефтегазовая отрасль, антистатическая нить, экранирующий эффект, ткани для спецодежды, динамический эффект, качество одежды.

Keywords: flaw detector, workwear, oil and gas industry, antistatic thread, shielding effect, fabrics for workwear, dynamic effect, quality of clothing.

Профессия дефектоскописта нефтегазовой отрасли связана с выявлением дефектов новых и действующих трубопроводов, например, трещин, коррозионного поражения, протечки воды и т.д. К одежде дефектоскописта предъявляются специфические требования, т.к. работа сопряжена с погод-

ными условиями, с движущимися механизмами, с исследуемыми объектами, находящимися на высоте, а также с рисками утечки нефтяных продуктов из соединительных швов и попадания на одежду дефектоскопических материалов при нанесении их на контролируемую поверхность.

Создание одежды с повышенными эргономическими и защитными характеристиками позволяет снизить риски травматизма, а в некоторых случаях и гибели работников [1].

Проведены исследования по видам и условиям работ дефектоскопистов на территории средней полосы России в летнее время года. Трудовая деятельность дефектоскопистов разнородна и должна сочетать в себе защиту от всех производственных рисков: от общих производственных загрязнений и механических воздействий (ГОСТ 12.4.280), от электрического напряжения (ГОСТ Р 12.4.234–2012), от повышенных температур (ГОСТ ИСО 15025–2012), иметь масло-, нефтеоталкивающую пропитку [2...4].

На основе проведенного анализа основных видов работ дефектоскопистов и показателей качества, предъявляемых к одежде специального назначения, в соответствии с нормативно-технической документацией определены требования к материалам и подобраны пять образцов: Балтекс 2, Балтекс 260, FlameFort 180А, FlameFort 210А, Паритет. Материалы подобраны самые популярные и наиболее подходящие для производства одежды специального назначения на российском рынке [5...7]. Проведены лабораторные исследования свойств пяти образцов (табл. 1 – исследование свойств текстильных материалов для спецодежды) по основным наиболее значимым показателям [8].

Таблица 1

Наименование показателя	Значение показателя согласно ГОСТ	Балтекс 2	Балтекс 260	FlameFort 180А	FlameFort 210А	Паритет
1	2	3	4	5	6	7
Волокнистый состав, %		20 хлоп-пок, 80 п/э	49 хлоп-пок, 51 п/э	100 арамид + анистатическая нить	100 арамид + анистатическая нить	20 хлоп-пок, 80 п/э
Поверхностная плотность, г/м ²	не более 350,0	293,4	209,5	190,0	225,5	260,0
Разрывная нагрузка, Н: основа уток	не менее 800,0 600,0	1103,0 660,0	1099,0 1065,0	1086,0 960,0	1158,0 975,0	1030,0 880,0
Раздирающая нагрузка, Н, основа уток	не менее 30,0 35,0	49,0 58,9	48,8 58,3	64,3 76,6	65,0 75,5	47,5 57,4
Стойкость к истиранию, цикл	3500	более 40000	более 40000	более 40000	более 40000	более 40000
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с	не менее 20,0	44,7	43,5	38,6	35,4	36,6
Гигроскопичность, %	не менее 5,0	6,3	7,8	3,5	3,8	5,4
Устойчивость окраски, балл: к свету к стирке 3 (60°C) к "поту" к трению сухому к дистиллированной воде к органическим растворителям	не менее 5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-	5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-	5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-	5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-	5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-	5/- 4/4 4/4 -/4 4/4 4/-
Раздвигаемость нитей в ткани, Н	не менее 68,6	74,5	85,6	79,5	78,5	73,4
Водоупорность, Па	не менее 2000	1490	3650	1650	1320	2740
Огнестойкость*: - остаточное горение, с, - остаточное тление, с, - длина обугленного участка пробы, см,	не более 0 0 10	0 0 7,5	0 0 8,0	0 0 0,5	0 0 0,5	0 0 10,0

Нефтеотталкивание, балл, не менее	ГОСТ Р 12.4.310-2016	5	5	5	5	5	5
Маслоотталкивание, балл, не менее		5	5	5	5	5	5
Водоотталкивание, усл.ед., не менее		90	90	80	100	100	100
Изменение размеров после мокрой обработки или химической, %: основа уток		не более: -3,5 ±2,0	-2,4 -1,5	-4,0 -2,6	0 0	0 0	-2,6 -1,8
Паропроницаемость, мг/см,		не менее 5	8	10	7	7	8
Показатель удельного поверхностного электрического сопротивления, Ом		не более 10 ⁷	7,4 ⁷	6,7 ⁷	2,1 ⁷	3,7 ⁷	10,1 ⁷

Исследуемые образцы, преимущественно соответствуют нормативной документации. Однако образцы материалов Балтекс 2, Балтекс 260, не дают достаточной защиты работников от воздействия водной среды (дождя), и, следовательно, не рекомендуются для применения на открытом воздухе. FlameFort 180A, FlameFort 210A недостаточно гигроскопичны, что снижает гигиенические свойства изделий. Хорошие результаты по всем параметрам получены у материала Паритет, который может быть рекомендован для изготовления одежды специального назначения для дефектоскопистов, остальные исследуемые материалы либо с учетом условий труда работника, либо зонально в сочетании с другими видами материалов в одном изделии.

В ГОСТ 12.4.280–2014 обозначены величины основных конструктивных прибавок для плечевой и поясной одежды, рекомендуемые для одежды специальной для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий [9...11]. С учетом особенностей профессии дефектоскопистов нефтегазовой отрасли высока вероятность недостаточно обоснованной величины данных прибавок. Изучены основные эргономические рабочие

позы дефектоскопистов и выбраны пять основных поз, наиболее часто встречающихся в трудовой деятельности.

1. Положение сидя на низкой подставке, колени согнуты под углом 45°, руки согнуты в локтях, вытянуты вперед.

2. Стоя, в вертикальном положении, руки подняты, на короткое время согнуты в локтях, руки вместе.

3. Положение сидя на опоре на нормальной высоте, спина прямая, колени согнуты под углом 90°, руки вперед параллельно положению туловища и ног.

4. Положение с туловищем, согнутым вперед под углом 90°, руки вытянуты вниз параллельно ногам.

5. Стоя, в вертикальном положении, руки подняты вперед и согнуты в локтях под углом 90°, кулаки сжаты максимально.

Антропометрические измерения размерных признаков проведены у двадцати работников (мужчин) нефтегазовой отрасли средней возрастной группы, различного роста и телосложения. В табл. 2 представлены максимальные величины динамических приростов размерных признаков. Результаты измерений и расчетов динамических эффектов (%) рабочих поз отображены в виде диаграммы на рис. 1.

Таблица 2

Наименование размерного признака	Величина динамического эффекта:		Номер позы
	см	%	
Длина спины	1,5	3,4	4
Ширина спинки	5,0	10,5	4
Длина переда	2,5	4,7	2
Ширина груди	-4,5	-12,4	1
Длина рукава	3,0	9,7	5

Обхват плеча	3,5	9,8	5
Окружность колена	8,0	16,1	1
Обхват талии	4,5	5,5	4
Ширина плеча	0	0	1,3
Расстояние от заднего угла подмышечной впадины до линии талии	9,0	33,3	2
Обхват бедер	8,0	7,7	1
Длина брюк	14,0	13,5	1

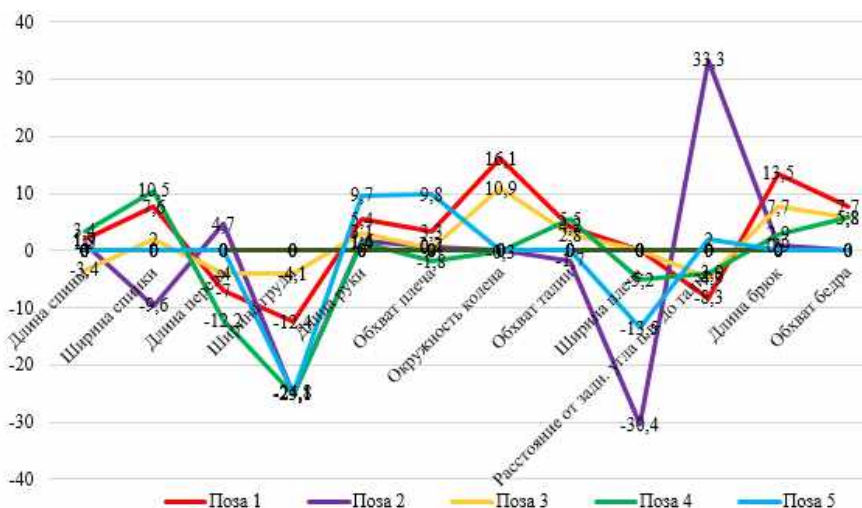


Рис. 1

При сопоставлении полученных величин приростов с ГОСТ 12.4.280–2014 определено, что рекомендуемые величины прибавок на свободное облегание должны выбираться максимальными из предложенного диапазона.

Результаты полученных данных дают возможность учесть эргономические особенности данной профессии при проектировании одежды, т.к. материалы для их изготовления очень малоэластичны и не могут полностью компенсировать динамические приросты. В качестве примера рассчитаны величины минимально необходимых прибавок для размера одежды 182-96-80: Пдтс = 1,6 см, Пшс = 2,1 см, Пдтп = 2,2 см, Пшп = - 2,2 см, Пдл.рукава = 6,1 см, Поп = 3,0 см, По.кол. = 6,2 см, Пт = 2,2 см, Пв.бочка = 8,9 см, Пб = 3,8 см, Пдл.бр. = 16,3 см.

Прибавка к ширине спинки может использоваться в полном объеме или частично включаться в конструктивные элементы – складки. Для уменьшения ширины груди в конструкции наилучшим образом рекомендуется незначительное уменьшение объема настрачиванием зонально элас-

тичной тесьмы. Эффективно применение рукава реглан, позволяющего перераспределить нагрузку движений работника на одежду динамичными косыми швами.



Рис. 2

Большие значения динамических эффектов длины спинки, переда, расстояния от заднего угла подмышечной впадины до линии талии возможно компенсировать разделением спецодежды на верхнюю и нижнюю части (куртка и брюки), применением в конструкции рукавов цельнокрое-

ных ластовиц (рис. 2 – конструкция втачного рукава), увеличенными прибавками на свободное облегание, эластичными вставками. При использовании в комплекте полукombineзона, обязательно включение эластичных лент в бретелях.

В области колена и в локтевой части для регулирования излишнего объема по фигуре с тыльной стороны возможно стягивание с помощью эластичных лент путем настраивания кулиски. Для обеспечения динамического эффекта длины брюк целесообразно применение горизонтальных складок, защипов в области коленей, шнуровок, клапанов, застегивающихся притачным хлястиком и т.д.

Детальное предпроектное исследование позволяет повысить качество изготавливаемой продукции, уровень защиты работников от неблагоприятных факторов и возможность создания эргономичной конструкции одежды специального назначения.

ВЫВОДЫ

Исследования условий работы дефектоскопистов нефтегазовой отрасли позволили определить основные требования к одежде. Экспериментальные исследования физико-механических свойства пяти материалов российских производителей, применяемых для изготовления спецодежды, позволили определить лучший для изготовления одежды для дефектоскопистов – Паритет, отвечающий всем параметрам нормативно-технической документации.

На основе динамических антропометрических измерений основных рабочих поз рассчитаны величины динамических приростов, которые необходимо учитывать при разработке конструкции. Даны рекомендации по проектированию моделей спецодежды для дефектоскопистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлова Е.О., Горелова А.Н. Особенности проектирования кастомного производства одежды // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2021, №1. С. 534...535.

2. Давыдов А.Ф., Кудринский С.В. Определение теплопередачи при воздействии пламени на ткани для спецодежды работников нефтегазовых комплексов, на основе разработанного экспресс-метода // Дизайн и технологии. – 2016, № 52 (94). С. 88...93.

3. Лаврентьева Е.П. Новые технологические решения создания текстильных материалов для производства спецодежды и средств индивидуальной защиты (СИЗ) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 6. С. 5...9.

4. Тучкова О.А., Охотникова А.А. Анализ пожароопасных свойств текстильных материалов // Вестник Технологического университета. – 2018. Т. 21, № 2. С. 79...82.

5. Морозова И.И., Тихонова Н.В., Махоткина Л.Ю. Анализ материалов, применяемых для защитной одежды в нефтехимической и нефтедобывающей отрасли // В сб.: Новые технологии и материалы легкой промышленности. XVI Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – 2020. С. 112...119.

6. Каюмова Р.Ф., Будеева О.Н. Исследование эргономических и эксплуатационных свойств специальной одежды для нефтяников // Дизайн и технологии. – 2018, № 68 (110). С. 23...28.

7. Рахматуллин А.М., Сафуанова О.А. Исследование тканей для спецодежды нефтяников на устойчивость окраски после многократных стирок // В сб.: Наука сегодня: теория и практика. Сборник научных статей V Международной научно-практической конференции. Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2019. С. 271...273.

8. Рыскулова Б.Р., Сейдехан А.Е., Айдосова К.П., Кандидат М., Данадилова Ж.Е. Исследование выбора основных факторов оценки спецодежды // Вестник Алматинского технологического университета. – 2018, № 4. С. 67...71.

9. Мартынова А.И., Андреева Е.Г., Максумова М.Т. Разработка метода оценки динамической характеристики конструкции женской плечевой одежды // Швейная промышленность. – 2011, № 1. С. 47...48.

10. Саидова Ш.А., Петросова И.А., Андреева Е.Г. Совершенствование методики конструирования поясной одежды с учетом повышенных эргономических требований // Современные проблемы науки и образования. – 2014, № 3. С. 26.

11. Изтаева А.А. Обоснование оптимальных параметров проектирования спецодежды для рабочих различных отраслей АПК // Вестник Алматинского технологического университета. – 2013, № 3. С.24...30.

REFERENCES

1. Kozlova E.O., Gorelova A.N. Features of designing custom clothing production // Young scientists-development of the National Technological Initiative (SEARCH). – 2021, № 1. P. 534...535.

2. Davydov A.F., Kudrinsky S.V. Determination of heat transfer under the influence of flame on fabrics for workwear of employees of oil and gas complexes, based on the developed express method // Design and technology. – 2016, № 52 (94). P. 88...93.

3. Lavrentieva E. P. New technological solutions for the creation of textile materials for the production of workwear and personal protective equipment (PPE) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №6. P. 5...9.

4. Tuchkova O.A., Okhotnikova A.A. Analysis of fire-hazardous properties of textile materials // Bulletin of the Technological University. – 2018. Vol. 21, № 2. P. 79...82.

5. Morozova I.I., Tikhonova N.V., Makhotkina L.Yu. Analysis of materials used for protective clothing in the petrochemical and oil-producing industry // In the collection: New technologies and materials of light industry. The XVII All-Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists. Collection of articles. – 2020. P. 112...119.

6. Kayumova R.F., Budeeva O.N. Research of ergonomic and operational properties of special clothing for oil workers // Design and technology. – 2018, №68(110). P. 23...28.

7. Rakhmatullin A.M., Safuanova O.A. Research of fabrics for oil workers' workwear on the color stability

after repeated washings // In the collection: Science today: theory and practice. collection of scientific articles of the V International Scientific and Practical Conference. Ufa State Petroleum Technical University. – 2019. P. 271...273.

8. Ryskulova B.R., Seidehan A.E., Aidosova K.P., Candidate M., Danadilova Zh.E. Investigation of the choice of the main factors for evaluating workwear // Bulletin of the Almaty Technological University. – 2018, №4. P. 67...71.

9. Martynova A.I., Andreeva E.G., Maksutova M.T. Development of a method for evaluating the dynamic characteristics of the design of women's shoulder clothing // Sewing industry. 2011, № 1. P. 47...48.

10. Saidova Sh.A., Petrosova I.A., Andreeva E.G. Improving the methods of designing waistwear taking into account increased ergonomic requirements // Modern problems of science and education. – 2014, №3. P.26.

11. Iztaeva A.A. Substantiation of optimal parameters for designing workwear for workers of various branches of the agro-industrial complex / Bulletin of the Almaty Technological University. – 2013, № 3. P.24...30.

Рекомендована кафедрой технологии и конструирования одежды. Поступила 11.08.22.

УДК 677.01

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_166

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕТУЧЕК
С КОЛОСНИКАМИ ОЧИСТИТЕЛЯ**

**INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF VOLTS
WITH CLEANER GRATES**

Р.Х. РОСУЛОВ

R.KH. ROSULOV

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: rasulov.ruzmurad@mail.ru

В статье проводится исследование взаимодействия летучек с колосниками очистителя хлопка-сырца от сорных примесей. Полученная формула позволяет найти угол между нормалью к поверхности и прядкой волокон, связывающих летучку с пильчатый барабаном. Зная угол между прядкой волокон и вектором абсолютной скорости, можно легко рассчитать углы падения и отражения летучки для любого профиля колосника.

The article examines the interaction of volatiles with grates of raw cotton cleaner from weeds. The resulting formula allows you to find the angle between the surface normal and the strand of fibers connecting the flywheel to the serrated drum. Knowing the angle between the strand of fibers and the vector of absolute speed, one can easily calculate the angles of incidence and reflection of the fly for any grate profile.

Ключевые слова: летучка, колосниковая решетка, пильчатая гарнитура, эффективность, взаимодействия, радиус кривизны, центр вращения, пилка.

Keywords: fly, grate, serrated set, efficiency, interactions, radius of curvature, center of rotation, file.

Анализ научных исследований показал, что все теоретические и экспериментальные разработки основывались на изучении взаимодействия летучки хлопка-сырца с элементами модуля очистки.

Основными элементами секции очистки крупного сора очистителя хлопка-сырца от сорных примесей являются пильчатый барабан и колосниковая решетка. При очистке хлопка-сырца летучки насаживаются на

зубья пильчатого барабана и подвергаются ударно-встряхивающему воздействию колосниковых решеток, в результате чего нарушается связь между летучками и сором.

Из анализа проведенных исследований в Соединенных Штатах Америки [1...4], видно, что зарубежные исследователи изучали вопросы совершенствования конструкций очистителей, их рабочих органов, скорости вращения рабочих органов и так далее.

Авторами [5] изучены вопросы параметры удара при взаимодействии летучки с поверхностью колосника.

В работах [6...8] изучено взаимодействие летучек и долек хлопка - сырца с пильчатой гарнитурой барабана и притирочной щеткой в модуле очистки, а также предложены разработки для повышения их эффективности в эксплуатации.

Ударный процесс взаимодействия летучки хлопка-сырца с колосниками в рабочей зоне модуля очистки рассмотрен в работе Бурнашева Р.З., Лугачева А.Е. и Фазылова С. [9], где экспериментальным путем исследованы и получены параметры удара при взаимодействии летучки с поверхностью колосника. Эта работа позволила подойти к разработке новых, эффективных, профилей колосниковых решеток.

Значительные теоретические и экспериментальные исследования процессов взаимодействия частицы хлопка с различными профилями колосников проведены в работе Фазылова С. [10].

В работе Олимова К.Т. и Джураева А. [11] была рассмотрена оптимизационная задача процесса взаимодействия частиц хлопка с колосниками на пружинных опорах в модуле очистителей крупного сора, что позволяет интенсифицировать процесс очистки за счет дополнительно возникающих ударно-встряхивающих воздействий в рабочей зоне очистителя. Работа так и не была доведена до промышленности.

В работах Агзамова М. [12] и Арипджанова М.С. [13] изучены процессы интенсификации сороотделения на вращающихся колосниках и получены положительные ре-

зультаты, но вместе с тем значительные динамические режимы и усложнения в кинематике привода не позволили реализовать предложения в промышленности.

Хаитовым Д.Р. [14] проведены исследования колосников с элементами скручивания на опорах, что несколько амортизирует и "смягчает" ударный процесс летучки о колосник, предотвращает забой хлопка-сырца между пильчатым барабаном и колосниками, однако быстротечность процесса взаимодействия хлопка с колосником в рабочей зоне очистителя и развивающиеся при этом упругопластические явления деформации хлопка-сырца снижают эффективность предложения.

В работе [15] составлены динамические и математические модели машинных агрегатов очистителя крупного сора ЧХ-5. А также составлена математическая модель движения летучек в рабочем органе очистителя крупного сора с учетом ударов летучек по колоснику в периодическом режиме. Аналитическими исследованиями получены законы движения летучек, а также соотношения, позволяющие найти области существования устойчивых режимов движения летучки.

Сорные примеси под действием центробежной силы и воздушного потока выпадают через зазоры колосниковых решеток [16], то есть происходит очистка хлопка сырца от сорных примесей. Для оптимизации процесса очистки необходимо изучить взаимодействие летучки с колосниками.

Современные очистители хлопка-сырца имеют высокую производительность и высокие скорости рабочих органов. Например, скорость пильчатого барабана очистительного агрегат УХК около 7м/с. Размеры же колосников и межколосниковые зазоры по сравнению с этой величиной малы, обычно 10...20 мм и 30...50 мм соответственно. Поэтому взаимодействие летучки хлопка-сырца с колосниками происходит за очень короткое время, обычно в пределах тысячной доли секунды.

При взаимодействии летучки хлопка-сырца с колосниками процессы деформации и восстановления происходят тоже в

тысячные доли секунды. Поэтому при взаимодействии летучки с колосником определяющим могут быть или динамика процесса, обусловленная деформацией и восстановлением летучки, или же кинематика процесса, обусловленная явлением охвата летучкой колосника и скольжением летучки по колоснику, в зависимости от разновидности, сорта, влажности хлопка-сырца, а также размеров и профилей колосников.

Рассмотрим процесс взаимодействия летучки с колосником в произвольной форме. Здесь мы рассмотрим процесс с точки зрения кинематики, т.е. без учета сил и деформаций.

Предположим, что известные параметры: R – радиус пильчатого барабана (мм); l – длина пряжки волокон связывающих летучку с зубьями пилки барабана (мм); r – радиус летучки (мм) (рис. 1 – пряжки волокон, связывающих летучку с зубьями пилки барабана).

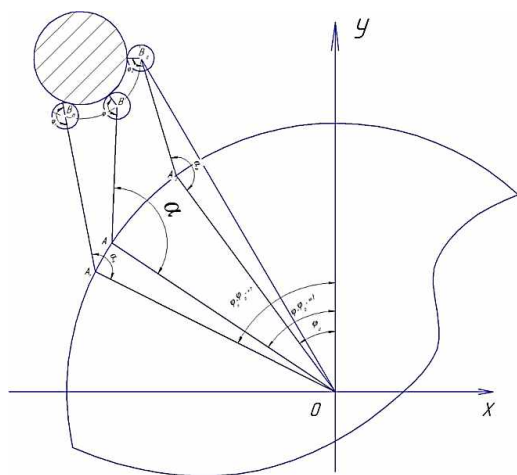


Рис. 1

Задана также функция профиля колосника:

$$f_1(x; y) = 0 \quad (1)$$

или функция его кривизны:

$$\rho(x; y) = 0. \quad (2)$$

Определим величину OB_0 :

$$OB_0 = \sqrt{R^2 + l^2 - 2Rl \cos \alpha_0} = R. \quad (3)$$

Если профиль колосника задан в виде (1), то для упрощения расчетов переведем в (2) [17]:

$$\rho(x; y) = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{|y''|} = \frac{[1 + f_1''(x)]^{3/2}}{|f_1''(x)|}. \quad (4)$$

Центр летучки при отсутствии деформации описывается эквидистантной кривой к колоснику и отстающий от него на величину r .

Эту кривую можно представить в виде:

$$\rho_3 = \rho(x; y) + r. \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение этой кривой:

$$|y_3''| [\rho(x; y) + r] - (1 - y_3')^2 = 0. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) численным или аналитическим способом позволяет найти кривую $u_{экр}$ в общем виде.

В частных случаях эта задача упрощается и полученная функция имеет вид:

$$y_3 = f_3'(x). \quad (7)$$

Точка В до касания движется по окружности радиусом:

$$x^2 + y^2 = R_1^2. \quad (8)$$

Подставляя в (8) выражение R_1 из (3), получим:

$$x^2 + y^2 - R^2 - l^2 + 2Rl \cos \alpha_0 = 0. \quad (9)$$

Совместное решение уравнений (7) и (9) позволяет найти B_0 и В. Первое решение соответствует началу контакта летучки с колосником, а второе решение показывает момент выхода летучки из контакта, если летучка до этого не выйдет из контакта вследствие других факторов.

Поэтому следует задать из физики процесса закон:

$$\alpha(t) = 0. \quad (10)$$

Определяющими для V_n могут быть:

а) окончание удара $\alpha(t_{уд})$,

б) выход с углом $\varphi_n = \pi$.

Находим φ_0 :

$$\varphi_0 = \arctg \frac{-x_B}{y_B} + \frac{\pi}{2} + \arcsin \left[\frac{\ell}{R_1} \sin \alpha_0 \right]. \quad (11)$$

Геометрическое место положения точки В можно найти из окружности с центром вращения, в точке А. Координаты точки А:

$$\left. \begin{aligned} y_A &= R \sin \varphi = R \sin(\varphi_0 + \omega t), \\ x_A &= R \cos \varphi = R \cos(\varphi_0 + \omega t). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Уравнение геометрического места положений точки В:

$$(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 - \ell^2 = 0. \quad (13)$$

Совместное решение уравнений (13) и (7) позволит найти координаты точки В(x_B ; y_B):

$$\left. \begin{aligned} y_B &= \bar{f}_3(x), \\ (x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 - \ell^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

По этим координатам находим R_1 :

$$x_B^2 + y_B^2 = R_B^2. \quad (15)$$

Затем находим

$$\alpha = \arccos \frac{R^2 + \ell^2 + R_1^2}{2R\ell}. \quad (16)$$

Напишем уравнение нормали к поверхности колосника в точке контакта:

$$Y - y = -\frac{1}{f'(x)}(X - x). \quad (17)$$

Или после преобразования получим:

$$(Y - y)y_B + (X - x)x_B = 0, \quad (18)$$

где x, y – координаты кривой; X, Y – координаты нормали к этой кривой.

Уравнений прямой АВ:

$$\frac{X - x_B}{x_A - x_B} = \frac{Y - y_B}{y_A - y_B}. \quad (19)$$

Перепишем (6) и (9) в виде:

$$y = kx + b, \quad (20)$$

$$y = -\frac{x'_B}{y'_B} X + \frac{x_B x'_B}{y'_B} + y_B; k = -\frac{x'_B}{y'_B}, \quad (21)$$

$$\frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} (X - x) = Y - y_B, \quad (22)$$

$$Y = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} X - \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} x_A + y_B, \quad (23)$$

$$k_2 = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}. \quad (24)$$

Определим угол ψ между нормалью к кривой $y = f(x)$ и прядкой волокон, связывающих летучку с зубьями пилки барабана.

Из [17] известна формула определения угла между двумя прямыми. Подставляя в эту формулу значения k_1 и k_2 , получим:

$$\psi = \pi - \arctg \frac{\frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} + \frac{x'_B}{y'_B}}{1 + \frac{x'_B (y_A - y_B)}{y'_B (x_A - x_B)}}. \quad (25)$$

ВЫВОДЫ

1. Полученная формула позволяет найти угол между нормалью к поверхности и прядкой волокон, связывающих летучку с пальчатым барабаном.

2. Зная угол между прядкой волокон и вектором абсолютной скорости, можно легко рассчитать углы падения и отражения летучки [18] для любого профиля колосника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A—Determination of PM10 and PM2.5 emissions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at

<http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

2. Environmental Protection Agency (EPA). 1989. Particulate sampling in cyclonic flow. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available online at <http://www.epa.gov/ttn/emc/guidlnd/gd-008.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

3. Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Frequently asked questions (FAQS) for Method 201A [Online]. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method201a.html> (verified 19 Aug. 2013).

4. National Agricultural Statistics Service (NASS). 1993-2012. Cotton Ginnings Annual Summary [Online]. USDA National Agricultural Statistics Service, Washington, DC. Available at <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1042> (verified 19 Aug. 2013).

5. Rosulov R.Rh., Saphoyev A.A. To the Problem of Clearing of Hard-grades Raw Cotton // Journal Textile Science & Engineering. – 2015. Volume 5. Issue 2. ISSN: 2165-8064.

6. Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. – М.: Машиностроение, 1972.

7. Бурнашев Р.З., Мирошниченко Г.И., Лугачев А.Е., Фазылов С. К вопросам закрепления хлопка-сырца на пильчатой поверхности очистителя крупного сора // Сб. Механическая технология волокнистого материала. – 1987, №31. Ташкент: ТПИ. С.24...30.

8. Лугачев А.Е., Фазылов С., Бурнашев Р.З. О закреплении хлопка-сырца на пильчатой поверхности очистителя // Сб.: Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1978, №6. С. 16...18.

9. Бурнашев Р.З., Лугачев А.Е., Фазылов С. Экспериментальное исследование ударного взаимодействия летучек хлопка-сырца с колосником очистителя крупного сора // Сб.: Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1980, №1. С. 7...8.

10. Фазылов С. Колосниковые узлы очистителей хлопка-сырца от крупных сорных примесей с регулируемыми параметрами: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент, 1985.

11. Олимов К.Т. Разработка и обоснование параметров колосников на упругих опорах очистителей хлопка-сырца от крупных сорных примесей: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 1998.

12. Аззамов М. Повышение эффективности очистки хлопка-сырца машинного сбора в пильчатых секциях очистителей: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 1985.

13. Арипжанов М.С. Влияние формы колосников и скоростного режима работы на процесс очистки хлопка-сырца в пильчатых очистителях: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 1984.

14. Хаитов Д.Р. Повышение эффективности очистки хлопка-сырца совершенствованием рабочих органов очистителей крупного сора: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 1990.

15. Холмирзаев Ж.З. Динамика машинных агрегатов и рабочего органа очистителя ЧХ-5: Дис...канд. техн. наук. – Ташкент, 1999.

16. Джаббаров Г.Д., Болтабоев С.Д., Котов Д.А., Соловьев Н.Д. Первичная обработка хлопка. – М.: Легкая индустрия, 1978.

17. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Государственное издательство физико-математической литературы. – М., 1962.

18. Будин Е.Ф. Исследование колосниково-пильчатых рабочих органов очистителей хлопка-сырца машинного сбора средневолокнистых сортов: Дис...канд. тех. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 1968.

REFERENCES

1. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A—Determination of PM10 and PM2.5 emissions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

2. Environmental Protection Agency (EPA). 1989. Particulate sampling in cyclonic flow. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available online at <http://www.epa.gov/ttn/emc/guidlnd/gd-008.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

3. Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Frequently asked questions (FAQS) for Method 201A [Online]. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method201a.html> (verified 19 Aug. 2013).

4. National Agricultural Statistics Service (NASS). 1993-2012. Cotton Ginnings Annual Summary [Online]. USDA National Agricultural Statistics Service, Washington, DC. Available at <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1042> (verified 19 Aug. 2013).

5. Rosulov R.Rh., Saphoyev A.A. To the Problem of Clearing of Hard-grades Raw Cotton // Journal Textile Science & Engineering. – 2015. Volume 5. Issue 2. ISSN: 2165-8064.

6. Miroshnichenko G.I. Fundamentals of designing machines for primary processing of cotton. – Moscow: Mechanical Engineering, 1972.

7. Burnashev RZ, Miroshnichenko GI, Lugachev AE, Fazylov S. On the issues of fixing raw cotton on the serrated surface of the coarse litter cleaner // Coll. Mechanical technology of fibrous material. – № 31, TPI, Tashkent, 1978. P. 24...30.

8. Lugachev A.E., Fazylov S., Burnashev R.Z. On fixing raw cotton on the serrated surface of the cleaner // Coll. Cotton industry. – Tashkent, 1978, №6. P.16...18.

9. Burnashev RZ, Lugachev AE, Fazylov S. Experimental study of the impact interaction of raw cotton volatiles with a grate of a large litter cleaner // Sat. Cotton industry. – Tashkent, 1980, № 1. P. 7...8.

10. Fazylov S. Grizzly nodes of raw cotton cleaners from large trash impurities with adjustable parameters: Dis... .cand. tech. sciences. – Tashkent, 1985.

11. Olimov K.T. Development and substantiation of the parameters of grates on elastic supports for cleaners of raw cotton from large weeds: Dis.... cand. techn. sciences. – Tashkent: TITLP, 1998.

12. Agzamov M. Improving the efficiency of cleaning raw cotton machine collection in the saw sections of the cleaners: Dis....cand. tech. sciences. – Tashkent: TITLP, 1985.

13. Aripzhanov M.S. The influence of the shape of the grate and the high-speed operating mode on the process of cleaning raw cotton in barbed cleaners: Dis. ... cand. tech. sciences. – Tashkent: TITLP, 1984.

14. Khaitov D.R. Increasing the efficiency of cleaning raw cotton by improving the working bodies of cleaners of large litter: Dis.... cand. tech. sciences. – Tashkent: TITLP, 1990.

15. Kholmiraev Zh.Z. Dynamics of machine units and working body of the CHH-5 cleaner: Dis.... cand. tech. sciences. – Tashkent, 1999.

16. Jabbarov G.D., Boltaboev S.D., Kotov D.A., Soloviev N.D. Primary processing of cotton. – Moscow, Light Industry, 1978.

17. Vygodsky M.Ya. Handbook of Higher Mathematics. State publishing house of physical and mathematical literature.– Moscow, 1962.

18. Budin E.F. Investigation of grate-serrated working bodies of raw cotton purifiers for machine harvesting of medium-fiber varieties: Diss... cand. tech. sciences. – Tashkent: TITLP, 1968.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 12.08.22.

УДК 677.21.051

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_171

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТМАССОВОГО
МНОГОГРАННОГО КОЛОСНИКА НА УПРУГИХ ОПОРАХ
В ОЧИСТИТЕЛЕ ХЛОПКА-СЫРЦА
НА ЧАСТОТУ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ
И ЭФФЕКТ ОЧИСТКИ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ
ОТ СОРНЫХ И ЖЕСТКИХ ПРИМЕСЕЙ**

**INFLUENCE OF PARAMETERS OF A PLASTIC MULTI-FACE GRATE
ON ELASTIC SUPPORTS IN A COTTON CLEANER
ON THE FREQUENCY OF SYSTEM VIBRATIONS AND THE EFFECT
OF CLEANING FIBER MASS FROM WEED AND HARDIMPURITIES**

О.Ж. МУРОДОВ, А.Д. ДЖУРАЕВ, А.Ф. ПЛЕХАНОВ, Д.С. ТАШПУЛАТОВ

O.J. MURODOV, A.D. JURAEV, A.F. PLEKHANOV, D.S. TASHPULATOV

(Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности, Республика Узбекистан,
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Russia)

E-mail: baxrinjom@mail.ru, moscjom@mail.ru, plekhanov-af@rguk.ru, ssht61@mail.ru

В статье приведены результаты разработки математической модели описания колебаний колосников, установленных на упругих опорах очистителя хлопка от крупного сора с нелинейной жесткостью. На основе численного решения уравнений математической модели получены зависимости параметров вибрации от конструктивных параметров колосниковой решетки. Эти зависимости позволяют обоснованно подойти к выбору конструктивных параметров из условий обеспечения амплитуды и частоты колебаний системы, необходимых для повышения очистительного эффекта волокнистой массы. Необходимые параметры вибрации установлены экспериментально в более ранних работах авторов. В работе приведены конкрет-

ные рекомендации, позволяющие повысить эффективность работы очистителя хлопка от крупного сора.

The article presents the results of the development of a mathematical model of vibrations of grates of a cotton cleaner from coarse litter, installed on elastic supports with nonlinear stiffness. Based on the numerical solution of the equations of the mathematical model, the dependences of the vibration parameters on the design parameters of the grate are obtained. These dependencies make it possible to reasonably approach the choice of design parameters based on the conditions for ensuring the amplitude and frequency of oscillations of the system necessary to increase the cleaning effect of the machine. The necessary vibration parameters were established experimentally in the earlier works of the authors. The work provides specific recommendations to improve the efficiency of the cotton cleaner from coarse litter.

Ключевые слова: очиститель хлопка, пластмассовый колосник, упругая опора, нелинейная жесткость, масса колосника, период колебаний, собственная частота.

Keywords: cotton cleaner, plastic grate, elastic support, non-linear stiffness, grate mass, oscillation period, natural frequency.

Основным недостатком очистителей хлопка-сырца от крупных сорных и жестких примесей является низкий эффект очистки, связанный с несовершенством конструкции рабочих органов. С целью совершенствования конструкции пыльных барабанов и колосниковых решеток нами были проведены исследования теоретических работ, проводимых ранее в данном направлении [1...3]. В результате литературного обзора установлено, что недостаточно исследована интенсивность взаимодействия рабочих органов с хлопком-сырцом, связанная с увеличением степени их подвижности. Поэтому была рекомендована конструкция многогранного колосника, установленного на упругих опорах [4], [5]. Как показано в этих работах, очистительный эффект увеличивается не только за счет взаимодействия хлопка с гранями колосника, но и за счет его колебаний на упругих опорах. При этом существенную роль играет частота собственных колебаний колосника. Традиционно колосники изготавливают из стали. Они имеют значительную массу и, как результат, низкую собственную частоту колебаний. Для повышения частоты колебаний колосников их можно изготавливать из пластмасс [6].

На рис. 1 представлена зона установки шестигранного пластмассового колосника на конических резиновых упругих опорах [7], [8]. При этом пластмассовый колосник 3 с ребрами 4 установлен в корпусе 1 посредством конической резиновой упругой опоры 2.

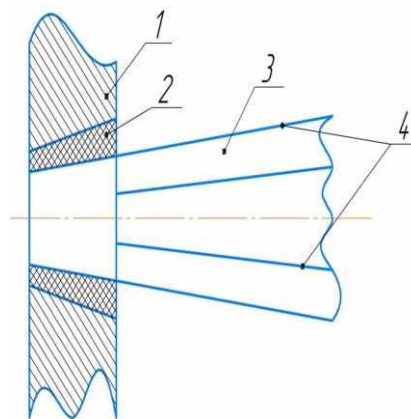


Рис. 1

В процессе работы очистителя хлопка-сырца вследствие воздействия волокнистой массы на колосники происходит их колебание. Учитывая, что сила воздействия хлопка-сырца имеет небольшую величину, для увеличения амплитуды и частоты колебаний колосников их изготавливают из

пластмассы, имеющей меньшую объемную плотность по сравнению с металлом. Важным является изучение колебания колосников в резонансных режимах, при которых значительно увеличивается амплитуда колебаний, что, по нашему мнению, должно увеличивать очистительный эффект.

С целью приближенного определения значения деформации резиновых опор колосника рассмотрим кинетическую энергию протаскиваемого хлопка-сырца совместно с пластмассовым колосником, которая в процессе удара переходит в потенциальную энергию деформируемой опоры с нелинейной жесткостью [9]:

$$T = \frac{mV_y^2}{2}, \quad \Pi = \int_0^{x_{\max}} c_1 x + \frac{c_2}{\mu} x^3 dx, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия хлопка-сырца и многогранного пластмассового колосника; m – суммарная масса многогранного пластмассового колосника и хлопка-сырца; V_y – скорость взаимодействия хлопка-сырца с поверхностью пластмассового колосника в процессе очистки от крупного сора; c_1 – линейная составляющая коэффициента жесткости амортизатора; c_2 – нелинейная составляющая коэффициента жесткости амортизатора; Π – потенциальная энергия деформируемой резиновой опоры многогранного пластмассового колосника.

С учетом принятых условий можно определить скорость:

$$V_y = \sqrt{\frac{2}{m} \int_0^a c_1 x dx + \int_0^a \frac{c_2}{\mu} x^3 dx}, \quad (2)$$

где a – максимальное значение деформации упругой опоры.

Согласно работе [10] при нелинейной жесткости упругого элемента одномассовой колебательной системы при условиях от $x = 0$ до $x = a$ период колебаний имеет вид:

$$t = 4 \sqrt{\frac{n}{\alpha}} \frac{1}{\alpha^{n-1}} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^{2n}}}, \quad (3)$$

где α и n – постоянные, $n=1,2,\dots$; $\xi=X/a$ при восстанавливающей силе, равной αx^{2n-1} .

С учетом восстанавливающей силы амортизатора $c_1 x + \frac{c_2}{\mu} x^3$, период колебаний

многогранного пластмассового колосника на упругой опоре с нелинейной жесткостью имеет вид:

$$t = 4\sqrt{m} \left[\sqrt{\frac{1}{c_1}} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} + \sqrt{\frac{2\mu}{c_2 a^2}} \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^4}} \right], \quad (4)$$

где μ – коэффициент, учитывающий нелинейность упругой характеристики амортизатора, m^2 .

В полученном выражении (4) осуществляется интегрирование членов. При этом второе слагаемое вычислено посредством интегрирования при помощи таблиц специальных функций согласно [10]:

$$t_k = 4\sqrt{m} \left[6,28 \sqrt{\frac{1}{c_1}} + \frac{1,8541}{\alpha \sqrt{c_2 / \mu}} \right]. \quad (5)$$

При этом частота свободных колебаний с учетом $\rho_2 = 2\pi / T$ имеет вид:

$$\rho_k = \frac{0,25a \sqrt{c_1 c_2 / \mu}}{\sqrt{m(2\pi\alpha \sqrt{c_2 / \mu} + 1,85\sqrt{c_1})}}. \quad (6)$$

При численных расчетах за исходные значения параметров системы были приняты: $m = (1,5 - 1,8)$ кг, $c_1 = 2,2 \cdot 10^4$ Н/м, $c_2 = 0,9 \cdot 10^4$ Н/м, $\mu = (0,3 \div 0,8) m^2$, $a = (1,0 \div 2,0) \cdot 10^{-3}$ м.

Численные решения задачи и анализ результатов на рис. 2 представлены в виде графических зависимостей изменения относительного значения собственной частоты колебаний пластмассового колосника от увеличения его приведенной массы (1 – при $a = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – при $a = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – при $a = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м). Анализ графиков показывает, что относительное значение собственной частоты с увеличением приведенной массы пластмассового колосника сни-

жается по нелинейной закономерности. Величина амплитуды фактически не влияет на полученную зависимость, при этом возрастание амплитуды колосника приводит к параллельному перемещению вверх кривой закономерности с разницей $\rho_k / \rho_n = 0,025 - 0,05$ (при увеличении a от $1,0 \cdot 10^{-3}$ м до $2,0 \cdot 10^{-3}$ м).

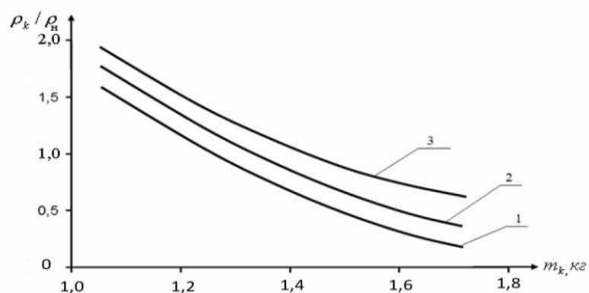


Рис. 2

На рис. 3 представлены графики изменения относительной величины периода колебаний многогранного пластмассового колосника на упругой опоре с нелинейной жесткостью, в зависимости от увеличения амплитуды собственных колебаний (1 — $m_k = 1,8$ кг; 2 — $m_k = 1,2$ кг). При значении амплитуды $1,0 \cdot 10^{-3}$ м период колебаний $t_k / t_n = 1,9$, при $m_k = 1,8$ кг, а при $a = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м и $m_k = 1,2$ кг период колебаний $t_k / t_n = 1,49$. Это означает, что амплитуда колебаний многогранного пластмассового колосника незначительно влияет на период и частоту его колебаний. При этом в массу пластмассового колосника в виде многогранной усеченной пирамиды включена средняя масса хлопка, находящаяся на поверхности колосника [11].

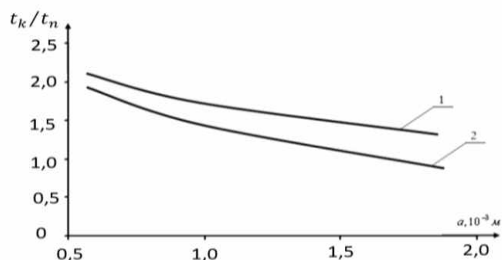


Рис. 3

Следует отметить, что сама амплитуда собственных колебаний зависит от вели-

чины деформаций упругой опоры, то есть от его характеристики жесткости. На рис. 4 (1 — при $\rho_k / \rho_n = f(c_1)$, $c_2 = 1,4 \cdot 10^4$ Н/м; 2 — при $\rho_k / \rho_n = f(c_1)$, $c_2 = 0,8 \cdot 10^4$ Н/м; 3 — при $\rho_k / \rho_n = f(c_2)$, $c_1 = 3,0 \cdot 10^4$ Н/м; 4 — при $\rho_k / \rho_n = f(c_2)$, $c_1 = 2,0 \cdot 10^4$ Н/м; $m = 1,5$) приведены графические зависимости изменения относительной величины собственной частоты колебаний (отношение текущего значения собственной частоты к расчетной) от изменения коэффициентов жесткостей упругой опоры. Анализ графиков показывает, что увеличение жесткости упругой опоры приводит к увеличению собственной частоты системы по нелинейной закономерности. Нелинейность упругой опоры зависит от расположения эксцентричной резиновой втулки, через которую многогранные пластмассовые колосники установлены в корпусе очистителя хлопка от крупного сора. При коэффициенте жесткости $c_2 = 0,8 \cdot 10^4$ Н/м и увеличении коэффициента жесткости c_1 от $1,5 \cdot 10^4$ Н/м до $3,0 \cdot 10^4$ Н/м значение относительной частоты возрастает почти в два раза от $\rho_k / \rho_n = 1,12$ до 2,21. С уменьшением значения c_2 до $0,8 \cdot 10^4$ Н/м интенсивность увеличения собственной частоты колебаний колосников снижается (рис. 4, кривая 2).

При постоянном значении c_1 увеличение c_2 от $1,5 \cdot 10^4$ Н/м до $3,0 \cdot 10^4$ Н/м приводит к увеличению ρ_k / ρ_n от 0,55 до 1,15, также в два раза. Это означает, что для увеличения предела значений собственной частоты колебаний многогранного пластмассового колосника в виде усеченной пирамиды целесообразным является увеличение жесткости упругой опоры (толщины конической резиновой втулки). Учитывая пределы изменений возмущающей силы на многогранный колосник со стороны протаскиваемого хлопка-сырца, собственная частота должна изменяться в незначительных пределах. Поэтому целесообразным является выбор параметров для рассматриваемой колебательной системы:

$$c_2 = (0,80 \div 1,0)10^4 \cdot \text{Н / м}, c_1 = (2,2 \div 2,8) \cdot 10^4 \text{Н / м при } m_k = (1,2 \div 1,4) \text{ кг.}$$

В целом полученные зависимости можно использовать для выбора конструктивных параметров колосников и их опор таким образом, чтобы обеспечить эффективные режимы колебаний, полученные ранее экспериментально [6], [11].

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель колебаний шестигранного колосника, установленного на нелинейно упругих опорах, позволяющая рассчитать параметры вибрации на стадии проектирования очистительного технологического оборудования.

2. Показано, что для обеспечения параметров вибрации системы, позволяющей повысить очистительный эффект, необходимо существенно снизить массу колосников, что можно обеспечить за счет изготовления колосников шестигранной формы из пластических масс.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коробельников А.Р., Лебедев Д.А., Шутова А.Г.* Выделение сорных примесей с поверхности слоя волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С.143...147.

2. *Korabel'nikov R.V., Korabel'nikov A.R.* One problem of removing coarse trash from fibrous material // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – 2000, №3. P. 29...33.

3. *Газиева С.А., Курбонов Б.Д., Нуров М.Э., Иброгимов Х.И., Рудовский П.Н.* Изменение структурного показателя хлопка-сырца по технологическим переходам его переработки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 5. С.131...135.

4. *Муродов О.Ж.* Влияние формы сетки очистителя мелкого сора для хлопка-сырца на очистительный эффект // Технологии и качество. – 2021, №2(52). С. 52...55. [https://doi.org/ 10.34216/2587-6147-2021-2-52-55](https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-55).

5. *Yunusov S.* Dynamic analysis of three-mass system of the saw gin with the resistance of cotton and research the effect on fiber quality // European Applied Sciences, ORT Publishing, Schwieberdinger Str. 59, 70435 Stuttgart, Germany. – 2015, mart, №3. P. 79...84. (05.00.00; №2)

6. *Джурраев А., Муродов О.Ж.* Совершенствование конструкций и методы работы параметров пластмассовых колосников на резиновых опорах

очистителей хлопка от крупного сора. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности. – Ташкент «Fan va texnologiya» 2018.

7. *Муродов О.Ж.* Снижение повреждаемости семян в сепараторе хлопка-сырца // Технологии и качество. – 2021, № 3(53). С. 48...51. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-48-51>.

8. *Murodov O.* Development of an effective design and justification of the parameters of the separation and cleaning section of raw cotton // Journal of Physics: Conference Series. – 2021, 1889(4), 042012.

9. *Ташипулатов Д.С., Мурадov О.Ж., Джурраев А.Ж., Гафуров Ю.К., Василиадис С.* Разработка конструкции и методы расчета параметров пластиковых ромбовидных стержней на упругих опорах в очистных машинах. Серия конференций ЮР; Материаловедение и инженерия Открытый доступ Том 459, Выпуск 12018 Номер статьи 012068 Эгейская Международная конференция по текстилю и передовой инженерии, АИТАЕ 2018, Лесбос, 5 сентября 2018 г. - 7 сентября 2018 г., 143522

10. *Djuraev A., Kuliev T.M.* Improvement of the construction and justification of parameters of the fibrous material regenerator // International Journal of Advanced Science and Technology. 29(8 Special Issue). P. 453...460

11. *Виноградова Н.Л., Партиеv X., Плеханов А.Ф., Ташипулатов Д.С., Тожимирзаев С.Т.* Влияние качественных показателей волокна и технологических прог на свойства пряжи. – Иваново: АО "Информатика", 2021.

REFERENCES

1. *Korabelnikov A.R., Lebedev D.A., Shutova A.G.* Isolation of weed impurities from the surface of a layer of fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 4. P. 143 ... 147.

2. *Korabel'nikov R.V., Korabel'nikov A.R.* One problem of removing coarse trash from fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, № 3. P. 29...33.

3. *Gazieva S.A., Kurbonov B.D., Nurov M.E., Ibrogimov Kh.I., Rudovsky P.N.* Changes in the structural index of raw cotton according to the technological transitions of its processing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2013, № 5. P. 131 ... 135.

4. *Murodov O.Zh.* Influence of the mesh shape of the fine litter cleaner for raw cotton on the cleaning effect // Technology and quality. – 2021, № 2 (52). S.52...55. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-55>.

5. *Yunusov S.* Dynamic analysis of three-mass system of the saw gin with the resistance of cotton and research the effect on fiber quality // European Applied

Sciences, ORT Publishing, Schwieberdinger Str. 59, 70435 Stuttgart, Germany. – 2015, March, № 3. P.79...84. (05.00.00; №2)

6. Juraev A., Murodov O.Zh. Improvement of designs and methods of operation of the parameters of plastic grates on rubber supports of cotton cleaners from large litter. Tashkent Institute of Textile and Light Industry. – Tashkent "Fan va texnologiya" 2018.

7. Murodov O.Zh. Reduction of damage to seeds in the separator of raw cotton // Technologies and quality. - 2021, № 3 (53). S. 48...51. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-48-51>.

8. Murodov O. Development of an effective design and justification of the parameters of the separation and cleaning section of raw cotton // Journal of Physics: Conference Series. - 2021, 1889(4), 042012.

9. D.S. Tashpulatov, O.Zh. JUR conference series; Materials Science and Engineering Open Access Volume 459, Issue 12018 Article Number 012068 Aegean

International Conference on Textiles and Advanced Engineering, AITAE 2018, Lesbos, September 5, 2018 - September 7, 2018, 143522

10. Djuraev A., Kuliev T.M. Improvement of the construction and justification of parameters of the fibrous material regenerator // International Journal of Advanced Science and Technology. 29(8 Special Issue). P. 453-460

11. Vinogradova N.L., Parpiev Kh., Plekhanov A.F., Tashpulatov D.S., Tozhimirzaev S.T. Influence of fiber quality indicators and technological programs on yarn properties. – Ivanovo: JSC Informatika, 2021.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 19.11.21.

УДК 677.02

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_176

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОЕЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЫТОЙ ШЕРСТИ С МИНИМАЛЬНЫМ ОСТАТОЧНЫМ ЖИРОМ

MODERNIZATION OF THE SCOURING MACHINE TO PRODUCE WOOL WITH MINIMAL RESIDUAL FAT

М.Б. ОТЫНШИЕВ, К. КУДЕР, К.Э. РАЗУМЕЕВ

M.B. OTYNSHIEV, K. KUDER, K.E. RAZUMEEV

**(Алматинский технологический университет, Республика Казахстан,
ТОО "Научно-производственный центр агроинженерии", Республика Казахстан,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия)**

**(Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan,
Scientific Production Center of Agricultural Engineering, LTD, Republic of Kazakhstan,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Russia)**

E-mail: kahar@list.ru; asutormo@mail.ru; ker2210@yandex.ru

В статье рассматривается возможность модернизации существующих моечных линий для промывки шерсти с целью повышения эффективности промывки шерсти и снижения содержания остаточного жира в мытой шерсти. Предложено устройство для эффективного удаления жира из промывочного раствора и результаты промышленного испытания разработанного устройства.

The article considers the possibility of upgrading existing washing lines for scouring wool in order to increase the efficiency of wool, and reduce the content of residual fat in scouring wool. A device for effective removal of fat from the washing solution and the results of industrial testing of the developed device are proposed.

Ключевые слова: шерсть, промывка шерсти, моечная линия.

Keywords: wool, scouring wool, scouring line.

Для переработки на современном импортном чесальном и прядильном оборудовании требуется шерсть с меньшим содержанием жира (0,7...0,8%), чем разрешено по межгосударственным стандартам. Простое увеличение концентрации мыла и соды приводит к резкому повышению себестоимости промывки. Стандартная технология промывки шерсти определяет полную замену моечных растворов один раз в смену, то есть через каждые 8 часов. Практика эксплуатации стандартного моечного оборудования показала, что остаточное содержание жира в шерсти изменяется с течением времени: в начале промывки она низкая и составляет примерно 0,7...0,8% и с течением времени увеличивается до 1,3...1,5%. Это обусловлено тем, что после начала про-

цесса промывки содержание жира в моечном растворе составляет 0,7...0,9%, и затем концентрация жира в растворе очень быстро повышается к концу смены, более чем в 10 раз.

Авторами разработано устройство, обеспечивающее удаление шерстного жира из отжимаемой шерсти и моечного раствора (изобретение [1] - Моечная машина, № (19) KZ (13)A(11)9352).

Моечная машина (рис. 1 – отжимное устройство и рис. 2 – моечная ванна (продольный разрез)) состоит из моечной ванны 1, отжимного механизма 2 с ведущим 3 и ведомым 4 валами, установленного над ванной 1, подающего транспортера 5 для подачи шерсти и отводного транспортера 6.

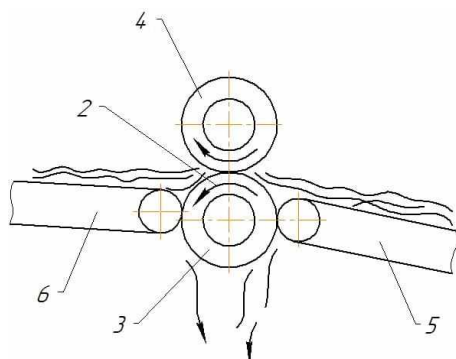


Рис. 1

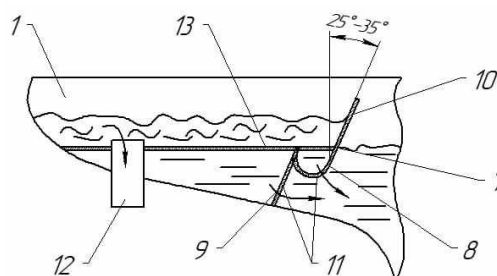


Рис. 2

Моечная машина содержит жиρούловитель 7, отгораживающий часть моечной ванны 1 под отжимным механизмом 2 и выполненный в виде желоба 8, одна стенка которого 10 выполнена выше другой, а к другой стенке по касательной закреплена перегородка 9. В нижней части перегородки 9 и дне желоба 8 выполнены мелкие отверстия 1, а отгороженная жиρούловителем часть ванны снабжена патрубком 12 для отвода жира и сеткой 13 с мелкими ячейками.

При подаче транспортером 5 мытой шерсти к отжимному механизму 2 она попадает в зев ведущего 3 и ведомого 4 валов, отжимается и далее поступает в отводной транспортер 6. Отжатый жир при этом стекает вниз и концентрируется в части моечной ванны, отгороженной жиρούловителем 7 и сеткой 13. Выступающая стенка 10 желоба 8 не позволяет расплываться жиру по всей водной поверхности ванны, а сетка задерживает жир в нижней части, пропуская

только воду. Перегородка 9 также частично задерживает жир, особенно при волновых движениях водного потока, и дополнительно служит для отвода воды при таких течениях, проходящей через отверстие 11. Такие же функции выполняют и отверстия 11 желоба 8.

Угол стенки 10 желоба 8, равный 15...25 градусам к вертикали, необходим для того, чтобы гасить волны в неотгороженной части ванны 1, в которой гребень волны гораздо выше отгороженной. По патрубку 12 скопленный жир стекает в сборник (не показан).

Для проверки эффективности работы модернизированной моечной машины был проведен следующий эксперимент. В производственных условиях ТОО "Фабрика "Куат ЛТД" были заправлены две опытные партии шерсти. Одна по стандартному режиму, вторая – с модернизированным устройством удаления жира из моечного раствора. Для обеих партий была использована тонкая шерсть овец породы архаромеринос. Параметры невыттой шерсти: тонкая, тониной 22 микрона, гребенной длины, сорная.

При контрольной промывке расход мыла (в пересчете на 100%-ная концентра-

цию) составил 2,0% от массы шерсти и кальцинированной соды – 2,0%. В экспериментальной партии расход мыла составил 1,6% и соды 1,6%. В контрольной партии замену моечных растворов производили через каждые 8 ч, в экспериментальной – через 12 ч. В эксперименте контролировались следующие параметры: концентрация жира в моечном растворе, остаточное содержание жира в мытой шерсти, остаточное содержание минеральных примесей в шерсти, выход шерсти при промывке. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Устройство достаточно просто, эффективно и обеспечивает содержание жира в отжатой шерсти, не превышающей 1% и позволяет практически на 20...30% снизить расход моющих средств. Если до внедрения данного устройства средний расход моющих средств на 1 т шерсти составлял 4,0%, то после внедрения расход снизился до 3,4% при том остаточное содержание жира в шерсти снизилось на 0,36% и составило 0,81%. Экономический эффект в Товариществе с ограниченной ответственностью "Куат, лтд" (Казахстан) составил около 3000 тенге (0,9 доллара США) на 1 тонну мытой шерсти.

Т а б л и ц а 1

Показатели	До модернизации	После модернизации
Содержание жира в моечном растворе:		
- через 1 ч после начала промывки	0,51%	0,29%
- через 4 ч после начала промывки	3,83%	2,65%
- через 8 ч после начала промывки	6,94%	3,81%
- через 12 ч после начала промывки	-	4,12%
Остаточное содержание жира в мытой шерсти:		
- через 1 ч после начала промывки	0,67%	0,69%
- через 4 ч после начала промывки	1,11%	0,82%
- через 8 ч после начала промывки	1,41%	0,95%
- через 12 ч после начала промывки	-	1,03%
- среднее по партии	1,17%	0,81%
Остаточное содержание минеральных примесей в мытой шерсти:		
- через 1 ч после начала промывки	1,05%	0,69%
- через 4 ч после начала промывки	1,19%	1,08%
- через 8 ч после начала промывки	1,56%	1,23%
- через 12 ч после начала промывки	-	1,28%
- среднее по партии	1,21%	1,17%
Выход при промывке (КЧМ)	53,1%	54,9%

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент Республики Казахстан. Моечная машина, № (19) KZ (13)A(11)9352./Кудер Кахарман Мухтарович, Зелинский Евгений Андреевич.

2. Отыншиев М.Б., Битус Е.И., Ниязбеков Б.Ж. Разработка малой механизации для валяльно-войлочного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №5. С. 185...189.

2. Oтынshiev M.B., Bitus E.I., Niyazbekov B.Zh. Development of small-scale mechanization for felt production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 5. P. 185...189.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 19.11.21.

REFERENCES

1. Patent of the Republic of Kazakhstan. Washing machine, No. (19) KZ (13) A (11) 9352. / Kuder Kakharman Mukhtarovich, Zelinsky Evgeny Andreevich.

УДК 677.021

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_179

DYNAMICS OF THE MACHINE AGGREGATE WITH A MILLING MECHANISM OF THE COTTON BUNDLE DISASSEMBLER

ДИНАМИКА АГРЕГАТА МАШИНЫ С ФРЕЗЕРНЫМ МЕХАНИЗМОМ РАЗБОРЩИКА БУНТОВ ХЛОПКА

M.T. KHODJIEV¹, A. DJURAEV², A.K. ASHUROV³

M.T. ХОДЖИЕВ, А. ДЖУРАЕВ, А.К. АШУРОВ

(Gulistan State University, Republic of Uzbekistan,
Bukhara Engineering-Technological Institute, Republic of Uzbekistan)

(Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан,
Бухарский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан)

E-mail: a.asrorjon83@mail.ru

The article covers the dynamics of the machine aggregate with a milling mechanism of the cotton bundle disassembler, taking into account the mechanical characteristics of the electric drive, technological resistance and torque of friction forces. The law of motion of the milling machine is defined. Optimal values of the parameters according to the analysis of the connection graphs were recommended.

В статье рассматривается вопрос динамики агрегата машины, который включает в себя разборщика бунтов хлопка, с учетом механической характеристики электрического двигателя, технологического сопротивления и момента сил трения. Определен закон движения фрезы. По результатам анализа графиков связи были рекомендованы оптимальные значения параметров.

Keywords: cotton bundle disassembler, milling machine, peg, machine aggregate, flexible bushing, technological resistance, rigidity, moment of inertia, angular speed, coverage, productivity, cleaning efficiency.

Ключевые слова: разборщик бунтов хлопка, фреза, колосник, машинный агрегат, упругая втулка, технологическое сопротивление, прочность, момент инерции, угловая скорость, покрытие, производительность, эффективность очистки.

Introduction

As we know, the main working body of the cotton bundle disassembler machine is a peg or milling drum, which has a number of design solutions [1], [2]. Nevertheless, the separation of the cotton pieces from the bundle was mainly done from the top down. In this case, the cotton pieces are not well hung with pegs, the incidence of spillage is high. Therefore, a method of separating the cotton pieces from the bottom up was recommended. In this case, the cotton pieces are separated in one plane without spilling and passed through a tube in the air stream [3].

The advantage of the recommended milling drum is that it is made of composite, mounted on the milling cutter shaft by means of flexible rubber bushings. In this case, the rotational motion of the milling drum is due to the deformation of the rubber bushing [4]. Because of these rotational movements, the milling drum intensively separates the cotton pieces from the peg, shaking it. This means that along with the increase in productivity, the efficiency of partial cleaning will also increase.

Calculation scheme and mathematical model of the machine aggregate.

The milling drum receives motion through an electric drive, a transmission shaft, a conical gear reducer. The calculation scheme is shown in Fig. 1. In the scheme, the milling drum was considered as one whole without being divided into two. However, the rubber bushing was taken into account.

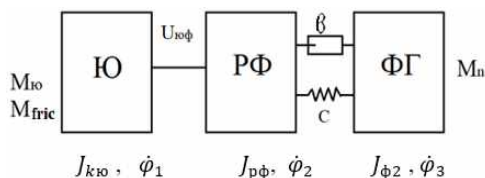


Fig. 1

In order to obtain the mathematical model of a cotton bundle disassembler machine ag-

gregate, we calculate using Lagrange's second-order equation [5], [6].

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q(q_i), \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{2} J_{кю} \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} J_{pф} \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} J_{ф2} \dot{\varphi}_3^2,$$

where T , Π are the kinetic and potential energies of the system, Φ is the dissipative function of the relay, $Q(q_i)$ are the external forces; q_i is generalized coordinate.

System kinetic and potential energies are [6], [7]:

$$\Pi = \frac{1}{2} C(\varphi_2 - U_{23}\varphi_3), \quad (2)$$

where $\dot{\varphi}_1$, $\dot{\varphi}_2$, $\dot{\varphi}_3$ are the angular speeds of the electric drive shaft, the gearbox output shaft and the drum shaft and the milling headset, respectively, C is the coefficient of rotation of the rubber bushing; U_{23} is transmission ratio.

The dissipative function of the relay is [8]:

$$\Phi = \frac{1}{2} b(\dot{\varphi}_2 - U_{23}\dot{\varphi}_3)^2, \quad (3)$$

$$\frac{\omega_0 - \varphi_1}{\omega_0} = \frac{S_K}{2M_K} M_g + \frac{1}{2\omega_c M_H} \dot{M}_g,$$

$$J_{кю} \ddot{\varphi}_1 = M_{ю} - U_{юф} M_{юф} - M_{fric},$$

$$J_{pф} \ddot{\varphi}_2 = M_{юф} - C(\varphi_2 - U_{23}\varphi_3) - b(\dot{\varphi}_2 - U_{23}\dot{\varphi}_3),$$

where b is the dissipation coefficient of rotation of the rubber bushing.

Correspondingly, we create a mathematical model representing the motion of a three-mass machine aggregate by determining the additions of the Lagrange equation for each generalized coordinate [8], [9]:

$$J_{фг} \ddot{\varphi}_3 = U_{23} C(\varphi_2 - U_{23}\varphi_2) + U_{23} b(\dot{\varphi}_2 - U_{23}\dot{\varphi}_3) - (M_1 + M_0 S_k \omega t \pm \delta \overline{M}_1), \quad (4)$$

where M_1 , M_0 , $\delta(\overline{M}_1)$ are constant and variable random components of technological resistance;

$M_{\text{ю}\phi}$ is driving torque interacting between the drive and reducer output shaft, M_{fric} is the moment of resistance of frictional forces.

Numerical solution of the problem and analysis of results.

The solution of the system of differential equations (4) representing the motion of the machine aggregate, including the milling drum drive of the cotton bundle disassembler, was carried out using the Runge-Kutta program [5], [10], considering the following initial calculated values of parameters:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{кю}} &= 1,52 \text{ kgm}^2, & J_{\text{ю}\phi} &= 5,25 \text{ kgm}^2, \\
 J_{\phi\Gamma} &= 1,69 \text{ kgm}^2, & U_{\text{ю}\phi} &= 6,83 \text{ kgm}^2, \\
 \dot{\phi}_1 &= 157 \text{ s}^{-1}, & n_{\text{ю}} &= 1500 \text{ rpm}^{-1}, \\
 M_{\text{fric}} &= 8,17 \text{ N}, & M_1 &= (20 \div 25) \text{ N}, \\
 M_0 &= (2,1 \div 2,5) \text{ N} & \delta M_1 &= \\
 &= (0,1 \div 0,12) M_1 \\
 C &= (450 \div 500) \frac{\text{Nm}}{\text{rad}},
 \end{aligned}$$

$$\beta = (6,2 \div 7,5) \text{ Nms/rad}.$$

Based on the solution of the problem, the laws of motion of the working bodies of the machine unit were determined. Fig. 2 shows the laws of variation of the angular speed of the rotor of the electric drive rotor and the torque in it, as well as the torque on the output shaft of the reducer.

The analysis of the obtained laws shows that the average start-up time of the machine unit is $(0.2 \div 0.25)$ s, while the stopping period is $(0.18 \div 0.2)$ s. The difference in this is mainly explained by the fact that the moments of resistance forces accelerate the stopping. Considering that the technological resistance was in the process of breaking the cotton gin, it was found that the average value of $\dot{\phi}_1$ was around 153 s^{-1} , the loading value was around $M_{\text{ю}} = (31 \div 35) \text{ Nm}$, and the loading of $M_{\phi\Gamma}$ was around $(68 \div 75) \text{ Nm}$.

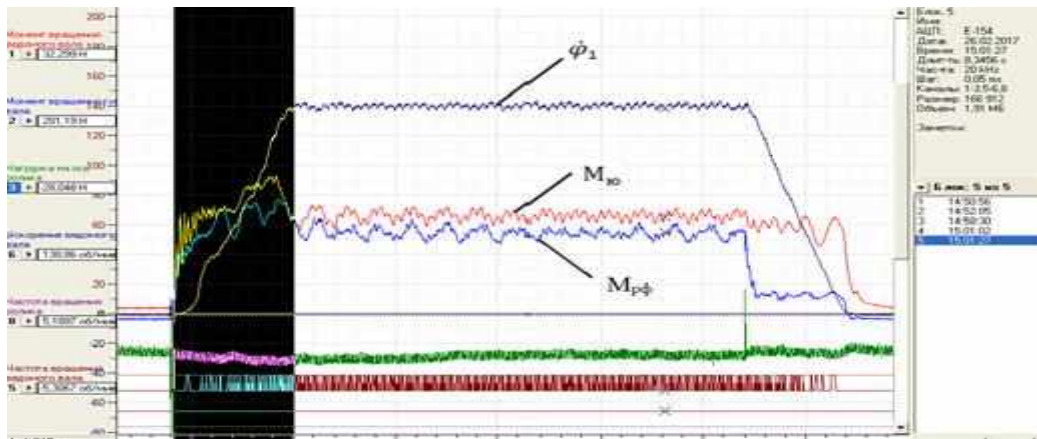


Fig. 2

Fig. 3 shows the laws of variation of angular speeds $\dot{\phi}_1$ $\dot{\phi}_3$ and torques on the shafts

$M_{\text{ю}}$ $M_{\phi\Gamma}$ of the drive and milling headset.

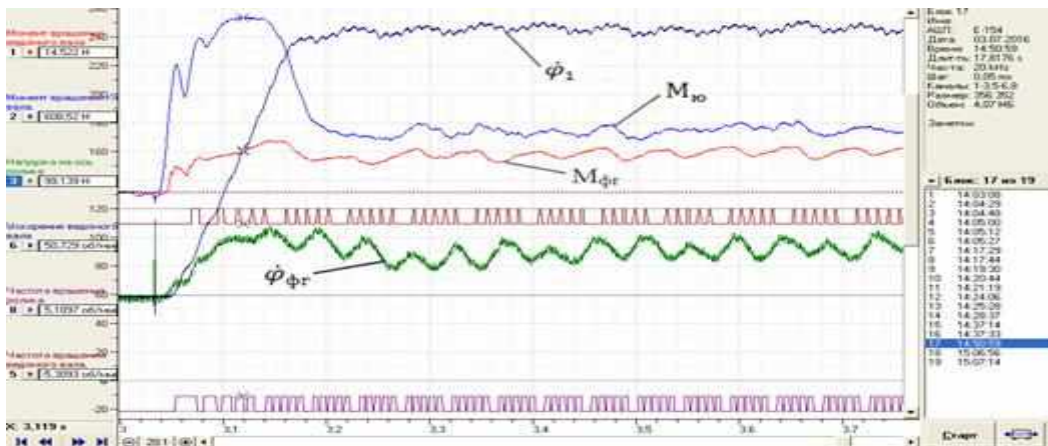


Fig. 3

Because result of processing the obtained laws of motion and loads, graphs of the interrelationships of machine unit parameters were constructed. In particular, Figure 4 shows graphs related to the technological resistance of the milling drum, the oscillation coverage of the angular speeds of the drive rotor and the changes in the torque. When analyzing the graphs, the angular speed oscillation coverage of the electric drive shaft when the moment of resistance from the raw cotton obtained increases from $0.42 \cdot 10^3 \text{ N}$ to $3.8 \cdot 10^3 \text{ N}$ is $2.18 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $5.2 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ increases the angular speed coverage of the milling headset from $1.51 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $3.6 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$. Correspondingly, as the torque values on the electric drive increase from $0.04 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ to $0.12 \cdot 10^2 \text{ Nm}$, the load on the milling headset increases from $0.09 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ to $0.32 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ in a nonlinear connection (Fig. 4, 4-graph). It is known that the speed of the milling cutter is much higher than the rotational motion, which allows intensive separation of cotton from the mill.

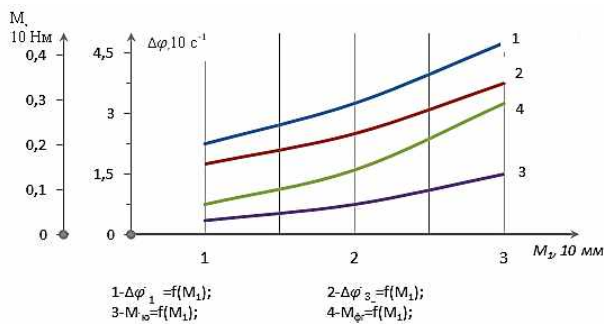


Fig. 4

Fig. 5 shows the dependence of the rotational torque coefficient of the rubber bushing mounted on the milling heads on the vibrating coverage of the angular velocities of the rotary drive drum, the angular speed of the drive rotor, and the torque.

When the average torque coefficient of the rubber bushing on the milling drum increases from $1.0 \cdot 10^2 \text{ Nm/rad}$ to $6.00 \cdot 10^2 \text{ Nm/rad}$, the oscillation coverage of the angular speed of the milling headset is $2.61 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $0.64 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$. If it decreases in a nonlinear pattern up to 1, it can be seen that the values of $\Delta\varphi_1$ decrease in a nonlinear pattern from $4.4 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $1.58 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ (Fig. 5, graph 1). It should be noted that if the

torque on the drive shaft increases from $0.052 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ to $0.18 \cdot 10^2 \text{ Nm}$, the torque on the milling headset increases from $0.12 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ to $0.33 \cdot 10^2 \text{ Nm}$ in a non-linear connection. It is recommended that the rubber bushing average rotational coefficient of rotation be less than $(4.0 \div 5.0) \text{ Nm/rad}$ to ensure that the speed vibration coverage ($0.6 \div 1.6$) is in the range of 10 s^{-1} .

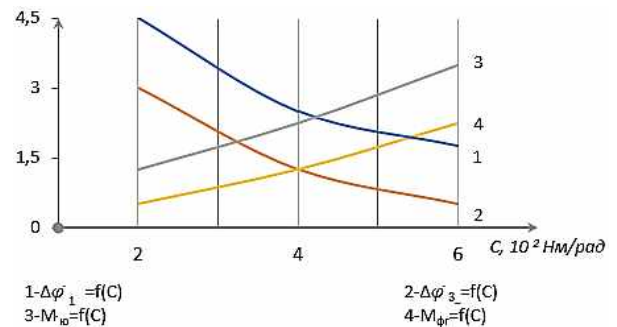


Fig. 5

It should be noted that by increasing the weight of the rotating mass or the moment of inertia, it is possible to make its rotation smooth [10,11]. Fig. 6 shows graphs of the vibration coverage of the angular speeds of the spinning mill drum and the drive rotor depending on the change in their moment of inertia. When the moment of inertia of the cutter headset increases from $1.2 \cdot 10 \text{ m}^2$ to $5.0 \cdot 10 \text{ m}^2$, when the coverage of the rotational oscillation speed of its angular speed is $M_{\text{ишк}} = 5.0 \text{ Nm}$, the values of $\Delta\varphi_3$ decreases from $1.52 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $0.26 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$, while $M_{\text{ишк}} = 9.0 \text{ Nm}$, the angular speed coverage of the milling headset decreases in a nonlinear pattern from $2.25 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$ to $0.61 \cdot 10 \text{ s}^{-1}$.

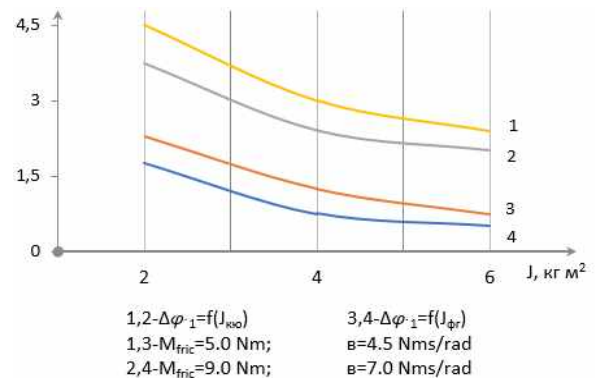


Fig. 6

Correspondingly, the values of $\Delta\varphi_1$ on the electric drive shaft decrease in a nonlinear pattern from $4.6 \cdot 10^{-1}$ to $2.28 \cdot 10^{-1}$ (Fig. 6, graph 1, 2). However, an excessive moment of inertia increases the loading torque and increases the power consumption. Therefore, the recommended values are: $J_{\text{ю}} \leq (2.0 \div 2.5) \text{ kgm}^2$; $J_{\text{фг}} \leq (2.4 \div 3.5) \text{ kgm}^2$.

The results of the proposed test of the construction of the drum with a milling cutter, flexible shock absorber of the recommended cotton bundle disassembler.

Analysis of the comparative test results shows that when using the recommended cotton bundle disassembler milling drum, the productivity can be increased by 1.9 t/h compared to the existing working body. Cotton cleaning has also improved. At the same time,

it was found that for every 10 kg of raw cotton (up to 4÷5) the number of pieces with up to 24% more fiber than the existing design, i.e. improved cotton cleaning. As a result, it was found that the cleaning efficiency of cotton increased by 5.9%. It was also noted that due to the use of a rubber shock absorber in the proposed design, the damage to the seeds because of the soft impact was reduced by $0.08 \div 0.09\%$ after the UXK unit. The efficiency of cleaning cotton after the cleaning unit was found to be 88.0% when using the recommended construction, and 79.5% when using the series construction. This means that the use of the recommended working drum in the cotton bundle disassembler machine leads to high efficiency.

Comparative test results.

Table 1

№	Name of the parameters	In existing cotton bundle disassembler	In proposed cotton bundle disassembler
1	Initial contamination of cotton,%	3.4	3.4
2	Cotton moisture,%	8.5	8.5
3	Productivity, t / h	10.5	12.4
4	Efficiency of cotton cleaning,%	7.9	13.8
5	Efficiency of cotton cleaning after UXK aggregate,%	79.5	88.0
6	Seed damage,%	1.4	1.32
7	Degree of shredding of cotton (percentage of pieces of up to 5 fibrous seeds in 10 kg of raw cotton),%	85	61

CONCLUSION

The efficient design of a milling drum of the cotton bundle disassembler is recommended. Based on the theoretical research, the laws of motion and loads of the drive and milling headset were determined, and the optimal parameters were recommended. Based on the test results, recommendations for implementation are given.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мирошниченко Г.И.* Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. – М.: Машиностроение, 1972.
2. *Зикриёвнинг Й.* умумий тахрири остида. Пахтани дастлабки кайта ишлаш. – Тошкент, 2002.
3. “Пахта бунтини бузгичнинг ишчи органи” 30.07.2020 й. № IAP 06267.
4. “Пахта бунтини бузгичнинг ишчи органи” 12.11.2021 й. № IAP 06635

5. *Джуряев А. и др.* Теория механизмов и машин. – “Ўқитувчи”, 2001.

6. *Mansurova M.A.* Influence of parameters of elastic elements on vibrations of a lever with a sewing machine // Scientific and technical journal of Fer PI. –2016, №20(1). P.41...45.

7. *Rajabov O.I., Kurbonov F.A., Abrorov A.S., Gafurova M.Z.* Selection of the circumferential speed of the spiked cylinders of – Raw from small trash // Journal of Physics: Conference Series. – 2021, №1889(4) 042056.

8. *Maksudov R., Djurayev A., Shuxratov Sh.* Improvement of the design and justification of the parameters of the cleaning zone of fibrous material from large // Research in Engineering and Technology (IJNET). – 2018, № 11(12). P.951...963.

9. *Djurayev A.* Dynamics of working mechanisms of cotton-processing machines. – Т.:Fan. 1987.

10. *Djurayev A., Sayitqulov S.O.* Research On Improving The Working Bodies Of The Machine For Cleaning Cotton From Waste // EPRA International Journal of Research and Development. – 2021, №6(3). P.1...5.

REFERENCES

1. Miroschnichenko G.I. Fundamentals of designing machines for the primary processing of cotton. – Moscow: “Mashinostroyeniye”, 1972.
2. Under the general editorship of Y. Zikriyoev. Primary processing of cotton. – Tashkent, 2002.
3. “Working body of the cotton bundle disassembler” 30.07.2020. No. IAP 06267.
4. “Working body of the cotton bundle disassembler” 12.11.2021. No. IAP 06635
5. Djuraev A. and others. Theory of mechanisms and machines. – “Ukituvchi”, 2001.
6. Mansurova M.A. Influence of parametrs of elastic elements on vibrations of a lever with a sewing machine // Scientific and technical journal of Fer PI. – 2016, №20(1). P.41...45.
7. Rajabov O.I., Kurbonov F.A., Abrorov A.S., Gafurova M.Z. Selection of the circumferential speed of the spiked cylinders of – Raw from small trash // Journal of Physics: Conference Series. – 2021, №1889(4) 042056.
8. Maksudov R., Djurayev A., Shuxratov Sh. Improvement of the design and justification of the parameters of the cleaning zone of fibrous material from large // Research in Engineering and Technology (IJNET). – 2018, № 11(12). P.951...963.
9. Djurayev A. Dynamics of working mechanisms of cotton-processing machines – T.: Fan. 1987.
10. Djurayev A., Sayitqulov S.O. Research On Improving The Working Bodies Of The Machine For Cleaning Cotton From Waste // EPRA International Journal of Research and Development. – 2021, №6(3). P.1...5.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных материалов Бухарского инженерно-технологического института. Поступила 11.08.22

УДК 539.434:677.494

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_185

**ВАРИАНТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**A VARIANT OF MATHEMATICAL MODELING
OF POLYMERIC TEXTILE MATERIALS OPERATING PROCESSES**

М.А. ЕГОРОВА, В.И. ВАГНЕР, Н.С. КЛИМОВА, А.М. ЛИТВИНОВ

M.A. EGOROVA, V.I. VAGNER, N.S. KLIMOVA, A.M. LITVINOV

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: wagnerv@mail.ru; nsk-klimova@yandex.ru; litalmih@mail.ru

В статье рассматривается вариант математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов, на основе которого можно проводить прогнозирование указанных процессов этих материалов любой степени сложности – от процессов простой релаксации и простой ползучести до сложных деформационно-восстановительных процессов и процессов обратной релаксации с чередованием нагрузки и разгрузений.

The article considers a variant of mathematical modeling of polymeric textile materials operational processes, on the basis of which it is possible to predict the indicated processes of these materials of any degree and complexity - from simple relaxation and simple creep processes to complex deformation-recovery processes and reverse relaxation processes with alternating loading and unloading.

Ключевые слова: математическое моделирование, прогнозирование, деформационные режимы эксплуатации, полимерные текстильные материалы.

Keywords: mathematical modeling, forecasting, deformation modes of operation, polymeric textile materials.

* Работа финансировалась в рамках выполнения гранта Президента РФ № МК-5492.2022.4.

Известные подходы к анализу эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов, к которым, в основном, относятся деформационные процессы, основаны на описании обобщенных экспериментальных кривых релаксации и ползучести с помощью нормированных релаксационных функций и функций запаздывания, в качестве которых наиболее часто выбирается интегральная кривая нормального распределения по логарифмической шкале приведенного времени.

Ввиду различного комплексного состава и макростроения полимерных текстильных материалов исследование механических свойств некоторых из них, особенно многокомпонентных материалов, бывает затруднено наличием у них усложненного спектра времен релаксации и запаздывания ввиду наложения друг на друга элементарных спектров, соответствующих составляющим материал компонентам [1].

Это обстоятельство стимулировало поиск математических моделей деформационных процессов на основе новых релаксационных функций и функций запаздывания, соответствующих усложненным спектрам. При построении математической модели вязкоупругости учитывалось, как требование к минимальному числу параметров математической модели, так и их физическая обоснованность [2].

Упрощение математической модели вязкоупругости достигается за счет учета нелинейности в интегральных ядрах релаксации и запаздывания в виде задания функций среднестатистических времен релаксации и запаздывания.

Один из рассматриваемых вариантов математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов построен на основе вероятностного распределения Коши релаксирующих и запаздывающих частиц [3]:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \varphi_{\varepsilon t}, \quad (1)$$

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \varphi_{\sigma t}, \quad (2)$$

$$- E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\varepsilon t}, E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\varepsilon t}, D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} D_{\sigma t}, D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{\sigma t}$$

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right), \quad (3)$$

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right), \quad (4)$$

где $E_{\varepsilon t}$ – модуль релаксации; $D_{\sigma t}$ – податливость, t – время; $1/b_{n\varepsilon}$ – параметр интенсивности процесса релаксации; $1/b_{n\sigma}$ – параметр интенсивности процесса ползучести; τ_ε – время релаксации (время за которое проходит половина процесса релаксации при величине деформации); τ_σ – время запаздывания (время, за которое проходит половина процесса ползучести при величине напряжения); $E_{\varepsilon t} = \sigma/\varepsilon$ – модуль релаксации; E_0 – модуль упругости; E_∞ – модуль вязкоупругости; $D_{\sigma t} = \varepsilon/\sigma$ – податливость; D_0 – начальная податливость; D_∞ – предельная равновесная податливость; ε – деформация; σ – напряжение; $\varphi_{\varepsilon t}$ – функция релаксации и $\varphi_{\sigma t}$ – функция ползучести, заданные в виде нормированного арктангенса логарифма приведенного времени (НАЛ).

Предложенный вариант наиболее подходит для прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов сложного макростроения, так как известно, что сумма случайных величин, распределенных по нормированному закону Коши, также распределена по этому же закону. То есть, если предположить, что релаксирующие и запаздывающие частицы, составляющих текстильных материалов нитей, распределены по внутренним временам релаксации и запаздывания по закону Коши, то можно считать, что и макрорелаксирующие и макрозапаздывающие частицы распределены по этому закону [4].

Несомненным достоинством математической модели (1)...(4) является то, что она содержит минимальное число параметров, имеющих ясный физический смысл:

- асимптотические значения модуля релаксации и податливости;

- структурные параметры $b_{n\varepsilon}$ и $b_{n\sigma}$ характеризуют скорость процессов релаксации и ползучести – указанные параметры соответствуют логарифму приведенного времени "полурелаксации" (половина процесса релаксации при деформации ε происходит в интервале времени $t \in [t', t'']$, где $\ln(t'/\tau_\varepsilon) = -b_{n\varepsilon}$, $\ln(t''/\tau_\varepsilon) = b_{n\varepsilon}$) и "полузапаздывания" (половина процесса ползучести при напряжении σ происходит в интервале времени $t \in [t', t'']$, где $\ln(t'/\tau_\sigma) = -b_{n\sigma}$, $\ln(t''/\tau_\sigma) = b_{n\sigma}$));

- функции времен релаксации $f_{\varepsilon, \varepsilon} = \ln(t_1/\tau_\varepsilon)$ и времен запаздывания $f_{\sigma, \sigma} = \ln(t_1/\tau_\sigma)$, характеризующие сдвиги кривых "семейств" релаксации и ползучести вдоль логарифмическо-временной шкалы содержатся, соответственно, в структурно-деформационно-временном аргументе-функционале [5]:

$$W_{\varepsilon t} = \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} = \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_\varepsilon} \right) \right) \quad (5)$$

и в структурно-сило-временном аргументе-функционале

$$W_{\sigma t} = \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} = \frac{1}{b_{n\sigma}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_\sigma} \right) \right). \quad (6)$$

Относительно медленная сходимость функции НАЛ (например, по сравнению с интегралом вероятности) к своим асимптотическим значениям позволяет интерполировать модуль релаксации $E_{\varepsilon t}$ и податливость $D_{\sigma t}$ в достаточно широком временном диапазоне, что дает возможность прогнозирования как быстротекущих, так и длительных деформационных процессов.

Следует заметить, что выбор нормированной функции для математической модели вязкоупругих свойств полимерных материалов осложняется тем, что нельзя

априорно отдать предпочтение какой-то из них. Основным критерием для отбора служит эксперимент. Наличие нескольких нормированных функций для моделирования позволяет сделать более правильный выбор и тем самым повысить надежность прогнозирования [6].

Исследование вязкоупругих характеристик полимерных текстильных нитей на основе предложенной математической модели (1)...(4) показало, что расчетное значение модуля упругости E_0 выше, чем рассчитанное с применением математических моделей, основанных на других нормированных функциях, и близко к акустическому значению $E_{ак}$, что также физически обосновано, так как скорость распространения упругих взаимодействий в полимерных текстильных нитях близка к звуковой. Изменилось в сторону уменьшения и значение модуля вязкоупругости E_∞ , характеризующего нижнюю асимптоту модуля релаксации в длительных процессах, что, по сути, расширяет диапазон релаксации. Аналогичный вывод можно сделать и о процессе ползучести. Данное обстоятельство выгодно отличает функцию НАЛ от ранее применявшихся нормированных функций релаксации и запаздывания (например, интеграла вероятности, функции Кольрауша, гиперболического тангенса и др.) [7].

Таким образом, использование нормированной функции НАЛ в качестве основы математической модели вязкоупругости позволяет с достаточной степенью точности моделировать деформационные свойства полимерных текстильных нитей. Указанное моделирование расширяет деформационно-временные и сило-временные границы прогнозирования деформационных процессов. Аналитическое задание функции НАЛ и принадлежность ее к классу элементарных функций упрощает дифференциально-интегральные преобразования в рамках рассматриваемой математической модели и облегчает процесс нахождения вязкоупругих характеристик [8].

Для математического моделирования релаксации и ползучести могут применяться и другие нормированные функции $\varphi_{\varepsilon t}$ и $\varphi_{\sigma t}$. Большое разнообразие применя-

ющихся функций положительно сказывается на точности прогнозирования. Критерием подбора функции является степень отклонения расчетных значений по математическим моделям (1)...(6) от эксперимента.

Кривые "семейства" релаксации, полученные при разных значениях деформации, можно параллельным сдвигом вдоль логарифмическо-временной шкалы на величину $\ln(\tau_\varepsilon/t_1)$:

$$\ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} = \ln \frac{t}{t_1} - \ln \frac{\tau_\varepsilon}{t_1} \quad (7)$$

наложить на обобщенную кривую модуля релаксации $E_{\varepsilon t}$, аппроксимированного математической моделью (1). Данное преобразование "семейства" релаксации основано на, так называемой, деформационно-временной аналогии.

По величине указанных сдвигов определяется функция $\ln(\tau_\varepsilon/t_1)$, задающая, по сути, времена релаксации τ_ε . Структурный параметр интенсивности процесса релаксации $1/b_\varepsilon$ определяется как коэффициент подобия обобщенной кривой модуля релаксации и нормированной функции (3).

Расположение обобщенной кривой модуля релаксации $E_{\varepsilon t}$ позволяет определить асимптотические значения E_0 и E_∞ .

Таким образом, задание математической модели релаксации (1) позволяет по экспериментальному "семейству" релаксации определить основные характеристики процесса релаксации, которые в дальнейшем используются для прогнозирования деформационных процессов.

Аналогично по экспериментальному "семейству" ползучести определяются параметры процесса ползучести: асимптотические значения D_0 и D_∞ , параметр интенсивности процесса $1/b_\sigma$ и функция времен запаздывания $\ln(\tau_\sigma/t_1)$ [9].

Достоверность определения рассмотренных механических характеристик проверяется контрольным пересчетом модуля релаксации и податливости по формулам (1), (2) и сопоставлением полученных зна-

чений с экспериментальными данными.

На основе вычисленных механических характеристик полимеров проводится прогнозирование деформационных процессов. Для этого используются численные методами решения интегральных уравнений Больцмана-Вольтерра наследственного типа [10]:

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_{t-s} \frac{\partial \varphi_{\varepsilon s}}{\partial s} ds \quad (8)$$

для процесса сложной релаксации и

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \int_0^t \sigma_{t-s} \frac{\partial \varphi_{\sigma s}}{\partial s} ds \quad (9)$$

для процесса сложной ползучести с интегральными ядрами релаксации и запаздывания, соответствующими математической модели (1)...(6):

$$\varphi'_{\varepsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \frac{1}{1 + W_{\varepsilon t}^2} \frac{1}{t} \quad (10)$$

$$\varphi'_{\sigma t} = \frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{b_{n\sigma}} \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2} \frac{1}{t} \quad (11)$$

Уравнения (8), (9) являются определяющими уравнениями нелинейно-наследственной релаксации и ползучести. Нелинейность этих уравнений состоит, прежде всего в учете среднестатистических времен релаксации τ_ε и ползучести τ_σ , входящих явно в интегральные ядра релаксации $\frac{\partial \varphi_{\varepsilon s}}{\partial s}$

и ползучести $\frac{\partial \varphi_{\sigma s}}{\partial s}$.

Интегралы, стоящие в правых частях уравнений (8), (9), представляют собой свертки функции деформации ε или напряжения σ с соответствующими интегральными ядрами, что отражает учет наследственного характера процессов деформирования. Данное обстоятельство означает, что при численном интегрировании уравнений (8), (9) по обратной временной шкале s необходимо учитывать вклады деформации или напряжения, накопленных к данному моменту времени $t-s$.

Преимущество применения для моделирования деформационных процессов интегральных ядер (10), (11), как следствие математической модели (1)...(6), 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 [11].

Кроме того, повышение точности прогнозирования основано на разработанных методах вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов (8), (9), построенных на неравномерном разбиении временной шкалы с учетом специфики рассматриваемого процесса.

Прогнозирование деформационных процессов играет важную роль при исследовании эксплуатационных свойств полимерных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности. Среди деформационных процессов наиболее часто встречаются деформационно-восстановительные процессы, а также процессы прямой и обратной релаксации [12].

Деформационно-восстановительный процесс характеризуется заданием функции напряжения σ_t и является частным случаем процесса нелинейно-наследственной ползучести, описываемой уравнением (8). Как правило, функция напряжения σ_t задается в ступенчатом виде с чередованием нагрузки и разгрузки. Уравнение (9) позволяет также прогнозировать процессы ползучести с произвольным заданием напряжения. Процессы прямой и обратной релаксации характеризуются заданием функции деформации ε_t и являются частным случаем процесса нелинейно-наследственной релаксации, описываемой уравнением (8) [13].

Проверка работоспособности моделей прогнозирования деформационных процессов (8), (9) с учетом (1)...(6) проводится, как правило, на простейших процессах растяжения с постоянной скоростью деформирования $\dot{\varepsilon}$ посредством построения экспериментальных диаграмм растяжения. По степени совпадения расчетных значений диа-

граммы с экспериментальными данными делается вывод о применимости указанной математической модели. Сравнение расчетных значений деформации и напряжения, вычисленных по уравнениям (8), (9), с экспериментальными данными для более сложных деформационных процессов повышает степень надежности прогнозирования [14].

ВЫВОДЫ

Подводя итог рассмотренным методам исследования механических свойств полимеров, включающих в себя построение математической модели вязкоупругости полимерных материалов, методики определения их механических характеристик, методики прогнозирования деформационных свойств указанных материалов, программное обеспечение и др., отметим, что немаловажную роль играет удачный выбор математической модели.

Если деформационные процессы одной группы полимерных материалов точнее прогнозируются с использованием некоторой математической модели, то для другой группы материалов может оказаться предпочтительнее применение другой математической модели. Поэтому, чем шире набор предлагаемых математических моделей и соответствующих им методик, тем точнее могут быть определены механические характеристики полимеров и тем точнее будет прогноз деформационных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Переборова Н.В.* Критерии качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Химические волокна. – 2020, № 3. С.39..42.
2. *Переборова Н.В.* Критерии качественной оценки деформационно-функциональных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Химические волокна. – 2020, № 4. С.37..40.
3. *Переборова Н.В.* Критерии качественной оценки релаксационных процессов полимерных текстильных материалов с целью оценки их эксплуатационных свойств// Вестник Санкт-Петербургского

государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2020, № 1. С. 80...88.

4. *Переборова Н.В., Сердюк С.С., Кузьмин С.Д., Смирнов Г.А.* Методы системного анализа при исследовании вязкоупругих свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2017, № 1. С. 16...26.

5. *Переборова Н.В., Егорова М.А., Шванкин А.М.* Методология математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. Т. 29, № 1. С. 20...28.

6. *Переборова Н.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А., Федорова С.В.* Методология моделирования и компьютерного прогнозирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов// Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 1. С.136...145.

7. *Переборова Н.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А.* Вариант прогнозирования усадки и восстановления арамидных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2019, № 1. С. 87...97.

8. *Переборова Н.В., Абрамова И.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А.* Варианты моделирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных волокнистых материалов сложного строения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2019, № 1. С. 98...107.

9. *Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В.* Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2019, № 4. С.51...58.

10. *Переборова Н.В., Шванкин А.М., Ковтун М.А.* Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, используемых для производства обуви//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. Т. 29, № 1. С. 38...46.

11. *Переборова Н.В.* Методология компьютерного моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. Т. 30, №2. С. 33...42.

12. *Переборова Н.В., Максимова Н.А.* Логистическая модель процесса организации склада готовых

изделий текстильной и легкой промышленности//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. Т. 32, №4. С. 114...117.

13. *Переборова Н.В.* Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе качественного анализа их эксплуатационно-деформационных свойств//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. Т. 32, № 4. С. 123...132.

14. *Переборова Н.В., Максимова Н.А., Чистякова Е.С.* Вариант логистической модели склада изделий текстильной и легкой промышленности// Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018, № 1. С. 115...118.

REFERENCES

1. Pereborova N.V. Criteria for a qualitative assessment of the relaxation and recovery properties of polymeric textile materials for technical purposes //Chemical fibers. – 2020, № 3. P.39 ... 42.
- 2 Pereborova N.V. Criteria for a qualitative assessment of the deformation-functional properties of polymeric textile materials for technical purposes//Chemical fibers. – 2020, № 4. P.37...40.
3. Pereborova N.V. Criteria for a qualitative assessment of relaxation processes of polymeric textile materials in order to assess their performance properties // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2020, № 1. P. 80...88.
4. Pereborova N.V., Serdyuk S.S., Kuzmin S.D., Smirnov G.A. Methods of system analysis in the study of viscoelastic properties of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. S.16...26.
5. Pereborova N.V., Egorova M.A., Shvankin A.M. Methodology of mathematical modeling of deformation processes of polymeric textile materials//Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2017. V. 29, № 1. S. 20...28.
6. Pereborova N.V., Ananichev E.A., Antonova I.A., Korobovtseva A.A., Fedorova S.V. Methodology of modeling and computer prediction of deformation-operational properties of polymeric textile materials // Izv. universities. Light industry technology. - 2019, №1. P. 136 ... 145.
7. Pereborova N.V., Ananichev E.A., Antonova I.A., Korobovtseva A.A. A variant of predicting shrinkage and recovery of aramid textile materials // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2019, № 1. P. 87...97.
8. Pereborova N.V., Abramova I.V., Ananichev E.A., Antonova I.A., Korobovtseva A.A. Options for modeling the deformation-operational properties of polymeric fibrous materials of complex structure // Bulletin

of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2019, № 1. P. 98...107.

9. Pereborova N.V., Egorova M.A., Kalanchuk O.E., Fedorova S.V. Mathematical modeling and computer prediction of viscoelastic creep of geotextile nonwoven materials // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2019, № 4. P.51 ... 58.

10. Pereborova N.V., Shvankin A.M., Kovtun M.A. Forecasting complex deformation processes of polymeric materials used for shoe production//Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2017. V. 29, № 1. P. 38...46.

11. Pereborova N.V. Methodology of computer simulation of deformation-relaxation processes of polymeric textile materials//Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. - 2017. V. 30, № 2. P. 33...42.

12. Pereborova N.V., Maksimova N.A. Logistic model of the process of organizing a warehouse for finished products of textile and light industry // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. - 2017. V. 32, № 4. P. 114...117.

13. Pereborova N.V. Increasing the competitiveness of aramid textile materials based on a qualitative analysis of their performance and deformation properties // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2017. V. 32, № 4. S. 123...132.

14. Pereborova N.V., Maksimova N.A., Chistyakova E.S. A variant of the logistic model of the warehouse for textile and light industry products // Izv. universities. Light industry technology. – 2018, № 1. P.115...118.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 12.08.22.

УДК 7.036:687.01:394.012(4)(=161.1)
DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_192

**СООТНОШЕНИЕ ЭТНИЧЕСКИХ СИМВОЛОВ ИСТОРИЧЕСКИХ КУЛЬТУР
С СОВРЕМЕННЫМИ КОСТЮМАМИ, АКСЕССУАРАМИ И УКРАШЕНИЯМИ**

**THE RATIO OF ETHNIC SYMBOLS OF HISTORICAL CULTURES
WITH MODERN COSTUMES, ACCESSORIES AND JEWELRY**

С.Ю. ОСИПОВА, Т.В. БЕЛКО

S.YU. OSIPOVA, T.V. BELKO

(Тольяттинский государственный университет,
Поволжский государственный университет сервиса)

(Togliatti State University,
Volga State University of Service)

E-mail: Svet-uvel@yandex.ru; belko@tolgas.ru

В статье рассматриваются костюмы, аксессуары и украшения значимых для цивилизации культур посредством изучения древних памятников, к которым относятся росписи стен, фрески, рельефы архитектурных сооружений, сохранившиеся книжные миниатюры. Благодаря ограниченному объему плоскости древние произведения искусства содержат информацию, точно переданную символом – главным изобразительным языком. Закрепившееся у человека представление о существовавших культурах периодически проявляется в работах современных дизайнеров одежды, аксессуаров и украшений, тем самым расширяя и обогащая ассортимент выпускаемых изделий.

Проблема: форма и степень трансформации художественных символов в этническом стиле под влиянием современной эпохи. Цель исследования заключается в теоретическом анализе и выявлении совокупных признаков этнического стиля равноценных по "зрелости" культур.

В статье использован теоретический метод исследования: анализ, сравнение информации в источниках по выбранной теме, применение научных теорий. Используются также эмпирические методы исследования объекта во времени: ретроперспектива, прогнозирование.

Ключевые результаты исследования: выявление совокупных признаков этнического стиля равноценных по "зрелости" культур и теоретический анализ их символов, принципы организации и функционирования аксессуаров и украшений в пространстве костюма. Рассмотрены автором культуры Египта, Индии, Вавилона, Китая, Греции, Византии, Арабского Востока,

Западной Европы, культуры Майя обладают внутренне едиными изобразительными, стилистическими чертами, своими технологиями выделки материалов, формообразующими приемами создания одежды, головных уборов, аксессуаров и украшений, наполненных общей символикой, возрождающейся в творениях новых поколений людей.

The article considers costumes, accessories and decorations of cultures significant for civilization through the study of ancient monuments, which include wall paintings, frescoes, reliefs of architectural structures, preserved book miniatures. Due to the limited volume of the plane, ancient works of art contain information accurately conveyed by the symbol – the main pictorial language. The idea of existing cultures, which has become entrenched in the representation of mankind, is periodically manifested in the works of modern designers of clothing, accessories and jewelry, thereby expanding and enriching the range of manufactured products.

Problem: the form and degree of transformation of artistic symbols in an ethnic style under the influence of the modern era. The purpose of the study is to theoretically analyze and identify the aggregate signs of ethnic style of cultures equivalent in "maturity".

The article uses a theoretical research method: analysis, comparison of information in sources on the selected topic, application of scientific theories. Empirical methods of studying an object in time: retrospective, forecasting are used.

Key results of the study: identification of the aggregate signs of an ethnic style of cultures equivalent in "maturity" and theoretical analysis of their symbols, principles of organization and functioning of accessories and jewelry in the costume space. The cultures of Egypt, India, Babylon, China, Greece, Byzantium, the Arab East, Western Europe, and Maya cultures considered by the author have internally unified pictorial, stylistic features, their own technologies of making materials, formative techniques of creating clothes, headdresses, accessories and jewelry, filled with common symbols, reviving into the creations of new generations of people.

Ключевые слова: цикличность, спираль времени, этнос, стиль, моделирование, символ, аксессуары, костюм, мода.

Keywords: cyclicity, spiral of time, ethnos, style, modeling, symbol, accessories, costume, fashion.

Актуальность темы исследования обоснована неустанным стремлением к обновлению образцов производимой одежды, сопровождаемому периодическим возвращением этнических мотивов. Отойдя от прямых национальных образов, как в одежде, так и в аксессуарах, дизайнеры вычлениют и оставляют лишь символы, выражающиеся в рисунках, цвете, сочетании материалов, формах, фактуре, текстуре. Исследование первоисточника, познание степени трансформации культурных символов способствуют формированию представления о предпосылках модификации объектов в будущем.

Существующая научная и учебная литература, посвященная истории костюма, представлена работами авторов Р. В. Захаржевской [1], Н.М. Каминской [2], М.Н. Мерцаловой [3], Ф.Ф. Комиссаржевского [4], в разной степени описывающих костюмы, их формы, конструкции, декор. Г.И. Петушкова [5] раскрывает тему построения современного женского образа посредством женской одежды с помощью системы знаков, а также рассматривает закономерности их сочетания.

Однако, несмотря на весомое количество источников по рассматриваемой теме, литература, посвященная этническим сим-

волам древних культур, используемым для проектирования современного костюма, представлена весьма ограниченным количеством трудов.

Проблема: степень трансформации художественных средств в этническом стиле под влиянием современной эпохи.

Цель исследования состоит в выявлении принципа соотношения этнических признаков в современном костюме, аксессуарах и украшениях.

Задачи исследования: определение ключевых символов древних культур, сыгравших значимую роль в становлении современного костюма, аксессуаров и украшений; систематизация имеющихся представлений об этнических мотивах различных культур.

В статье использован теоретический метод исследования: анализ, сравнение информации в источниках по выбранной теме, применение научных теорий. Используются также эмпирические методы исследования объекта во времени: ретроперспектива, прогнозирование.

Обращение к истории демонстрирует проявление интереса не только к произошедшим событиям, но и к вопросу о причине их регулярного повторения. В попытке зафиксировать логику развития событий философы сформулировали несколько ключевых представлений о времени. Так, Гераклит, Платон, Аристотель представляли время в виде циклично повторяющихся исторических событий. Дж. Вико, Ш. Монтескье, И. Гердер, Г. Гегель положили начало принципу историзма, который заключается в признании закономерной связи между прошлым, настоящим и будущим. Современное представление рассматривается в виде спиральной динамики, разработанной Доном Бекон и Крисом Кованом в 1960-х гг., где исторические события в разных сферах человечества находят свое отражение в современной действительности, но на качественно новом уровне. Концептуальные модели мира организованы вокруг систем ценностей VMemes – социальных идей, культурного проявления социума, общего для многих членов социума [6]. Изучение VMemes может помочь в

попытке определения ключевых символов древних культур, сыгравших значимую роль в становлении современного костюма, аксессуаров и украшений.

На основе концепции циклического развития культуры Дж. Вико, А. Тойнби, Н. Данилевский [7], О. Шпенглер выдвинули теорию культурных циклов, в которых отдельные культуры рассматриваются как исторически закрытые системы. О. Шпенглер выделил восемь равноценных по "зрелости" культур: египетскую, индийскую, вавилонскую, китайскую, греко-римскую, майя, византийско-арабскую, западно-европейскую [8].

По мнению американского ученого С. Хантингтона, мировой порядок в XXI в. будет определяться именно взаимодействием различных культур, границы которых проходят по ареалам распространения языков и определенных стилей жизни [9]. Одним из таких ареалов является мода.

В ее изучении выделяют три основных подхода, в которых этнические мотивы рассматриваются как:

- 1) простое отражение культуры;
- 2) картина мира;
- 3) основной инструмент усвоения культуры, наследуемой от предков.

Памятники живописи, скульптуры и прикладного искусства древних культур отражают изначально заложенную систему ценностей, помогающую отличать одну культуру от другой, и являются одним из достоверных источников информации для изучения этнических символов. Несмотря на столетия, разделяющие первоисточники и современные объекты, этнические символы, выраженные у разных культур в различных формах-образах, сохраняют первозданные признаки [10]. К подобным символам относятся не только графические знаки как таковые, но и условные знаки, выраженные в закрепленном представлении, что приводит к прямой ассоциации с тем или иным образом, а именно с костюмом конкретной культуры.

Египет. На стенах гробницы Небамона изображены сцены с женщинами, носящими украшения и одетыми в белые одежды из тонкого хлопка. Знаковыми яв-

ляются круглые обильно декорированные шейные украшения в виде воротника и серег в виде дисков, браслеты на руке и ногах, диадемы на голове. Для египетского искусства характерны символы жука-скарабея, цветов лотоса, мифических божеств, птиц и животных, а также множество геометрических фигур.

В современную коллекцию Haute Couture, весна-лето 2020 Зухаира Мурада (Zuhair Murad) перекочевали представления о богах и богинях пантеона, выразившиеся в струящихся тканях, плотно сидящих костюмах, состоящих из декора, окаймляющего шею и руки полосами ярких цветных камней и накладок (рис. 1 – соотношение этнических символов культуры Египта и современного костюма).

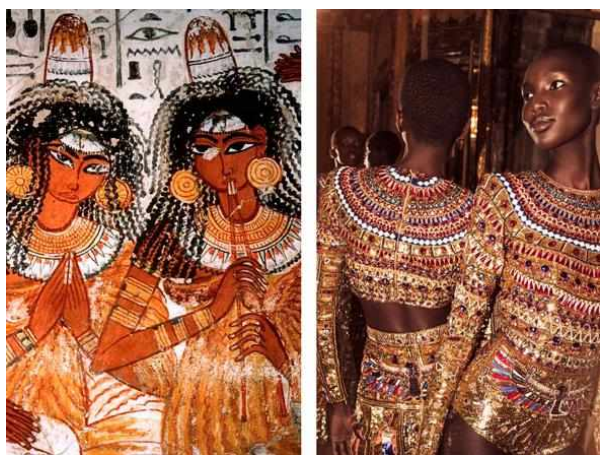


Рис. 1

Индийская миниатюра 1815 г. из музея Виктории и Альберта (Великобритания) изображает женщин с зеркалом. Цветовая палитра представлена такими оттенками, как индиго, марена, зеленый, зелено-голубой, золотисто-желтый. Кроме того, якорным в данной культуре является алый цвет. Материи из шелка, кашемира, тонкого и прозрачного хлопка затканы вышивкой – мелким цветочно-растительным орнаментом и широкой узорчатой каймой [2].

Жан-Поль Готье в коллекции Hermes, весна-лето 2008 использовал свойственный индийской культуре принцип моделирования костюма: визуально пластичную драпированную одежду в сочетании с накладными и распашными элементами. Основу

коллекции составили кафтаны и сари, индийские куртки Неру, брюки-джапуры, шаровары, шелковые шарфы, тюрбаны из разноцветного шелка (рис. 2 – соотношение этнических символов культуры Индии и современного костюма).



Рис. 2

Вавилон. Фрагмент ассирийского барельефа из Куюнджика изображает царицу и ее прислужниц, одетых в длинные облегающие платья с рукавами. Одежда царицы сплошь вышита рельефным геометрическим рисунком, края накидки отделаны неширокой бахромой. Серьги разнообразных форм с подвесками в виде полумесяцев или виноградных гроздьев вдевались не только в уши, но и в нос. Характерной особенностью вавилонского женского убранства являются бусы, украшающие лоб, шею, грудь, запястья рук и ноги [11].



Рис. 3

Модельер Song Tri в коллекции весна-лето 2020 использовал лаконичный силуэт приталенной одежды. Отголоски ассирийской культуры звучат в выраженной асимметрии, многочисленных плиссе и оборках по типу бахромы (рис. 3 – соотношение этнических символов культуры Вавилона и современного костюма).

В пещере Могао (провинция Ганьсу, Китай) сохранилось изображение женского портрета династии Высокого Тан, 705-780 гг. Знатная дама в окружении женских фигур низшего сословия облачена в традиционную распашную одежду из шелка, узорчатой многоцветной парчи, тончайшего газа. Ткань оформлена с помощью росписи, нашивок, вышивки узоров флоры и фауны, традиционных архитектурных объектов или элементов, иероглифов, поэтических сюжетов.

Характерные прически в виде узла длинных волос, закрепленного с помощью шпилек, дополнены сложными и витиеватыми украшениями из жемчуга и нефрита [2].

Деликатные отсылки к традиционному китайскому графическому искусству определили вектор творчества Энджел Чэн (Angel Chen). Джинсовая куртка The Dye отражает мировоззрение молодого и успешного дизайнера из Китая. В ее коллекциях сочетаются восточная и западная культура, элементы уличной и высокой моды, а также традиционное и современное искусство в одежде (рис. 4 – соотношение этнических символов культуры Китая и современного костюма).



Рис. 4

Сохранившийся фрагмент фриза Парфенона демонстрирует вариант греческих одежд, скрепленных с помощью фибулы на одном или обоих плечах. Представлено декоративное решение ткани по всей поверхности или каймы по краю с помощью аппликации из пластин тонкого металла, вышивки гладью или крестом с орнаментом, связанным с объектами живой природы (эроты, сфинксы, скульптурное изображение животных), геометрический или растительный характер (пальметта, плетенка, бутоны цветов).

Прически украшены лентами, диадемами в виде венка из лавра.

Наравне со складками тканей можно увидеть камеи, инталии, ожерелья, серьги, подвески, браслеты на запястьях и выше локтя, перстни [2].

В коллекции "Современность античности" от Chanel (2018 г.) фасон "стекающих" по фигуре платьев и костюмов сочетался с тканями, по текстуре напоминающими каменную кладку, рельеф стен с их многообразными выступами (рис. 5 – соотношение этнических символов культуры Греции и современного костюма).



Рис. 5

Исчезнувшую культуру майя можно изучать по археологическим артефактам, настенным росписям и скульптуре, сохранившимся храмам Бонампаку (Мексика). На фрагменте росписи одной из стен запечатлена сцена из бытовой жизни женщин, облаченных в белые одеяния, состоящие из длинной юбки и широкой прямоугольной

кофты с разрезами для рук, в головных уборах в виде плюмажа. Общая цветовая гамма росписи соответствует колористическим предпочтениям, определяемым видами птиц и животных, которые обитали в данной местности: золотисто-оранжевый, желто-бурый, медно-красный, красный, зеленый различных оттенков, голубой, синий, фиолетовый, черный, белый [12].

Отголоски культуры майя можно наблюдать в коллекции Just Cavalli, осень-зима 2015/2016 благодаря разнообразным принтам и геометрическим мотивам: решетка, простой или ступенчатый меандр, ломаные и зубчатые полосы, ромбы, змеобразные волнистые полосы. Особую оригинальность добавили перья, бахрома из перьев и кисти из маленьких перышек в отделке костюмов и украшений. Женщинам культуры майя были свойственны скромные по количеству, но броские ввиду массивности украшения в виде подвесок, ожерелий, браслетов, колец (рис. 6 – соотношение этнических символов культуры Майи и современного костюма).



Рис. 6

Представление о костюме византийской культуры сформировано по мозаике базилики Сан-Витале (Равенна, Италия), изображающей императрицу Феодору со свитой, облаченной в одежды простого покроя по типу "футляр". Многослойные драпирующиеся неэластичные ткани из шерсти, шелка, парчи скрывали под своей тяжестью пластику человеческого тела. Примечательны драгоценные оплечья из жемчуга и

камней, расшитые золотого цвета вышивкой покрывала, накидки, платки. На голову надевались украшения в виде венца или короны, митры, тиары, различные диадемы, повязки. В образе также присутствовали массивные по объему ожерелья, кольца, жемчужные подвески [3].

Византийская коллекция Дольче и Габбана (Dolce & Gabbana), осень-зима 2013/2014 изобиловала характерными культурными символами, выразившимися в имитации мозаики с помощью пайеток и пластин цвета смальты – охры, голубого, бордового, светло-коричневого, зеленого. Костюмы заполнены крупным плоскостным рисунком, изображающим животных и птиц, изображением сцен с библейскими мотивами. Аксессуары и украшения созданы с учетом исторического стиля, вторя технике фоновой филигранны, образному решению корон, серег, сумочек, очков и туфель (рис. 7 – соотношение этнических символов культуры Византии и современного костюма).



Рис. 7

Арабская культура. Фрагмент миниатюры из рукописи "Макамы" аль-Харири изображает молящихся в мечети женщин в традиционных головных покрывалах изумрудного, белого, фиолетового, синего и бордового цветов тканей с виртуозным орнаментом, в который вплетены каллиграфия, геометрические и стилизованные растительные элементы [10]. Наслоение длинной и широкой распашной одежды пред-

ставляется как основной принцип моделирования арабского костюма.

В 2019 г. Dolce & Gabbana выпустили коллекцию с дизайнерской трактовкой женского мусульманского костюма в яркой благородной цветовой гамме, состоящей из золотого, винного, фиолетового, бежевого, черного цветов. Использован традиционный набор элементов гардероба в виде длинной и широкой распахнутой рубахи, шаровар, кафтана, хиджаба. Традиционное декоративное решение ткани с помощью вышивки золотом, блестками разнообразили полосы кружев (рис. 8 – соотношение этнических символов Арабской культуры и современного костюма).



Рис. 8

Западно-европейскую культуру представляет фрагмент нидерландского гобелена XVI века, ярко демонстрирующий сложные конструкции женских костюмов. На рис. 9 (соотношение этнических символов культуры Европы и современного костюма) изображены дамы в полуприлегающем и трапециевидном платьях из парчи, бархата, эластичного сукна контрастных синего, зеленого, красного цветов. Демонстрируется декоративное решение рукавов, нижней юбки платья с помощью набивного растительного рисунка, тиснения или вышивки золотыми нитями. Представлено великолепие ювелирных украшений, разнообразных не только по своей форме и красоте, но и по назначению. Аксессуары – пуговицы; кушак или пояс; цепочки, монеты, медальоны, играющие роль талисмана, –

украшали не только головной убор, но и костюм. Среди украшений присутствуют сетка для волос; драгоценные металлические накладки и броши, серьги, многочисленные драгоценные браслеты, кольца, цепи, подвески [1].

Анн Демелеместер (Ann Demeulemeester) в коллекции прет-а-порте, осень-зима 2020/2021 представила интерпретацию стилей западно-европейской культуры различных веков (рис. 9). Почти каждую лаконичную модель сопровождают современный гибридный вид украшений, соединяющий эстетическую функцию с дополнительным техническим назначением. На бедра одной из моделей надето украшение в виде каркаса, имитирующего овалы-фигмы, надеваемые под нижнюю юбку в начале XVII в. в Англии.



Рис. 9

ВЫВОДЫ

Возвращаясь к теории спиральной динамики, следует сделать вывод о взаимодействии этнических символов и костюма: присутствие таких символов в одежде демонстрирует значимость этнических мотивов. Этнические символы представляются в качестве неотъемлемой части культуры, наследуемой от предков, и играют роль основного инструмента ее усвоения. Дизайнер, подстраиваясь под меняющуюся среду, трансформирует приобретенный опыт, воспринятую информацию, создавая новые концепции, по качеству превосходящие прежние.

Конструктивные закономерности формы и пластических особенностей традиционной одежды являются актуальным направлением в моделировании современной одежды. Будучи подхваченной дизайнерами одежды и украшений, этничность каждый раз будет представлена современной не за счет прямого заимствования, а благодаря творческой интерпретации с привнесением личного стиля автора и наслоения стиля эпохи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Захаржевская Р.В.* История костюма: костюм в Древнем мире, костюм в Средние века, эпоха Возрождения, период Мольера, европейский костюм XVII-XX веков, русский костюм. – Изд.е 4-е, дополн. и перераб. – М.: Рипол-классик, 2009. ISBN 978-5-386-01172-7.
2. *Каминская Н.М.* История костюма. – М.: Легкая индустрия, 1977.
3. *Мерцалова М.Н.* Костюм разных времен и народов. В 4-х томах. – М.: Академия моды, 1993. ISBN 5-900136-01-9.
4. *Комиссаржевский Ф.Ф.* История костюма: уникальные материалы по истории костюма с древнейших времен. – М.: Люка; АСТ; Астрель, 2005. ISBN 5-17-018578-2, 5-271-10514-8, 5-9660-0868-X.
5. *Петушкова Г.И., Цховребадзе Е.Н.* Механизмы визуализации модной формы женской одежды. – М.: МГУДТ, 2008. ISBN 5-87055-097-1.
6. *Бек Дон, Кован Крис.* Спиральная динамика: управляя ценностями, лидерством и изменениями в XXI веке / Пер. с англ. И. Фрейман и П. Миронова. – СПб.: BestBusinessBooks; Открытый Мир, 2010. ISBN 978-5-91171-026-2, 978-5-9743-0187-2.
7. *Дианова В.М.* Концепция циклического развития культуры Джамбаттисты Вико и ее последователи // *Studia culturae*. Альманах кафедры философии культуры и культурологии и Центра изучения культуры философского факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Выпуск 2. – СПб.: Санкт-Петербургское философское общество, 2002. С. 43...56.
8. *Шпенглер Освальд.* Закат Европы / Пер. с немецк. – М.: Наука, 1993. ISBN 5-02-029879-4.
9. *Лихвар В.Д., Погорелый Д.Е., Подольская Е.А.* Культурология. – М.: Эксмо, 2008. ISBN 978-5-699-26714-9.
10. Всеобщая история искусств. В шести томах. В 8 книгах. Том 2. Книга 1. Искусство Средних веков / Под общ. ред. Б. В. Веймарна, Ю. Д. Колпинского; авторы глав Ю. Д. Колпинский, Б. В. Веймарн, В. М. Полевой [и др.]. – М.: Искусство, 1961.
11. *Руденко С.И.* Древнейшие в мире художественные ковры и ткани из оледенелых курганов Горного Алтая. – М.: Искусство, 1968.

12. *Рус Альберто.* Народ майя / Пер. с испанск. / науч. ред. и авт. предисл. В.И. Гуляев. – М.: Мысль, 1986. С. 5...28.

REFERENCES

1. Zakharzhevskaya R.V. The history of costume: costume in the Ancient World, costume in the Middle Ages, Renaissance, Moliere period, European costume of the XVII-XX centuries, Russian costume – 4th edition, expanded and revised. – Moscow: Ripol-classic, 2009. ISBN 978-5-386-01172-7.
 2. Kaminskaya N.M. The history of costume. – Moscow: Light Industry, 1977.
 3. Mertsalova, M. N. Costume of different times and peoples: in 4 volumes. – Moscow: Academy of Fashion, 1993. ISBN 5-900136-01-9.
 4. Komissarzhevsky F.F. The history of costume: unique materials on the history of costume since ancient times. – Moscow: Luke; AST; Astrel, 2005/ ISBN 5-17-018578-2, 5-271-10514-8, 5-9660-0868-X.
 5. Petushkova G.I., Tskhovrebadze E.N. Mechanisms of visualization of fashionable forms of women's clothing. – Moscow: MGUDT, 2008. ISBN 5-87055-097-1.
 6. Beck Don, Cowan Chris. Spiral dynamics: Managing values, leadership and change in the XXI century / translated from English by I. Freiman and P. Mironova. – St. Petersburg: BestBusinessBooks; Open World, 2010. ISBN 978-5-91171-026-2, 978-5-9743-0187-2.
 7. Dianova V.M. The concept of cyclical development of culture Giambattista Vico and her followers // *Studia culturae*. Almanac of the Department of Philosophy of Culture and Cultural Studies and the Center for the Study of Culture of the Faculty of Philosophy of St. Petersburg State University. Issue 2. – St. Petersburg: St. Petersburg Philosophical Society, 2002. P. 43...56.
 8. Spengler Oswald. Sunset of Europe / translated from German. – Moscow: Nauka, 1993. ISBN 5-02-029879-4.
 9. Likhvar V.D., Pogorely D. E., Podolskaya E.A. *Culturology*. – Moscow: Eksmo, 2008. ISBN 978-5-699-26714-9.
 10. *Universal Art History*. In six volumes. In 8 books. Volume 2. Book 1. Art of the Middle Ages / Under the general editorship of B. V. Weimarn, Y. D. Kolpinsky; authors of chapters: Y. D. Kolpinsky, B.V. Weimarn, V.M. Polevoy [et al.]. – Moscow: Iskustvo, 1961.
 11. Rudenko S.I. The world's oldest artistic carpets and fabrics from the glaciated mounds of the Altai Mountains. – Moscow: Iskustvo, 1968.
 12. Rus Alberto. The Maya people / translated from Spanish / scientific ed. and author's preface. – Moscow: Mysl, 1986. P.5...28.
- Рекомендована кафедрой дизайна и искусства Поволжского государственного университета сервиса. Поступила 01.06.22.

**ОБЪЕКТЫ "FIBER ART"
КАК ЧАСТЬ ПРИРОДНОЙ И ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**FIBER ART OBJECTS
AS PART OF THE NATURAL AND URBAN ENVIRONMENT**

H.H. ЦВЕТКОВА

N.N. TSVETKOVA

(Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица)

(Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design named after A.L. Shtigits)

E-mail: ts_natali@mail.ru

Одним из актуальных направлений современного искусства является размещение объектов "fiber art" в природной и городской среде. Известным художником, применявшим ткани для создания масштабных инсталляций, является Христо. Размещение объектов "fiber art" на открытом воздухе требует от художников принимать во внимание негативные природно-климатические факторы, поэтому подобные произведения часто создаются из синтетических или нетекстильных материалов. В настоящее время в России наблюдается интерес к экспонированию объемно-пространственных композиций "fiber art" в природной и городской среде.

One of the current trends of contemporary art is the placement of "fiber art" objects in the natural and urban environment. A famous artist who used fabrics to create large-scale installations is Hristo. The placement of "fiber art" objects in the open air requires artists to take into account negative natural and climatic factors, that's why these works are often created from synthetic or non-textile materials. Currently, there is an interest in Russia in exhibiting three-dimensional compositions of "fiber art" in the natural and urban environment.

Ключевые слова: текстильное искусство, искусство "пластического взрыва", инвайронмент, "fiber art", арт-объект, инсталляция.

Keywords: textile art, the art of "plastic explosion", environment, fiber art, art object, installation.

Во второй половине XX в. художниками-экспериментаторами, работавшими в области текстильного искусства, – Ленор Тауни, Магдаленой Абаканович, Ягодой Буич и др. – было сформировано новое направление, известное в искусствоведческой практике как "пластический взрыв". В период "пластического взрыва" появилось много объемно-пространственных текстильных произведений, которые в настоящее время принято называть арт-объектами

и инсталляциями. Во второй половине XX столетия возник термин "fiber art" – искусство волокна, – который в настоящее время практически заменил термин "текстильное искусство" и который допускает применение художником нетекстильных материалов при создании своих произведений.

Известный арт-критик Андре Кензи, занимавшийся изучением объемно-пространственных текстильных форм, выделил три их типа:

- объекты, висящие на стене;
- произведения, которые можно обойти вокруг;
- среда (инвайронмент), внутри которой можно зайти.

В дальнейшем М. Константин и Дж. Л. Ларсен выявили следующие типы текстильной среды (инвайронмента):

- архитектурный;
- экспериментальный;
- костюмный [1, с. 36].

На наш взгляд, сюда следует добавить, выделив в качестве отдельного типа, инвайронмент природной и городской среды.

Целью статьи является изучение объемно-пространственных произведений "fiber art" конца XX - начала XXI вв., которые стали частью природной и городской среды. В настоящее время существует мало публикаций, посвященных данной теме, как в российской, так и в зарубежной искусствоведческой практике, в то время как подобных объектов становится все больше и больше. Таким образом, тема, рассматриваемая в статье, безусловно, является актуальной и может быть интересна широкому кругу специалистов, работающих в области художественного текстиля. В соответствии с целью были сформулированы следующие задачи исследования:

- рассмотреть творчество художников конца XX - начала XXI вв., работавших в области создания объемно-пространственных композиций "fiber art" в природной и городской среде;
- изучить практику создания уличных композиций "fiber art" в России;
- выявить основные трудности экспонирования произведений "fiber art" на открытом воздухе и обозначить способы их решения.

При написании статьи автором использовался описательно-аналитический метод. Исследование базируется на материалах международных и российских художественных выставок "fiber art", во многих из которых участвовали авторские работы.

Объекты "fiber art", расположенные в природной и городской среде, в настоящее время остаются актуальным трендом современного искусства в разных странах мира,

в том числе и в России. Важно подчеркнуть, что имеются в виду произведения, экспонируемые вне стен выставочных залов, на открытом воздухе. Для текстильных арт-объектов и инсталляций подобный способ экспонирования представляет определенный риск, так как негативные природные факторы могут деформировать или даже уничтожить работу. Однако применение современных нетекстильных материалов в объектах "fiber art" позволяет существенно снизить риски.

Вероятно, самым известным художником, применявшем текстильные материалы для создания инсталляций в городской среде, является американец болгарского происхождения Христо Явашев (Христо). Среди его работ, созданных совместно с супругой Жанной Клод де Гийебон, можно отметить "Обернутый берег в Сиднее" (1969), "Обернутый Понт-Неф. Париж" (1985), "Обернутый Рейхстаг. Берлин" (1995), "Окруженные острова. Бискайский залив. Большой Майами. Флорида" (1983) и др.

Инсталляция "Обернутый берег в Сиднее" имела целью привлечь внимание людей к экологическим проблемам – эрозии почвы – и представляла собой обернутые светлой тканью скалы Австралийского побережья. На создание этого произведения ушло более 92000 м² синтетической ткани [5], [8].

Работы "Обернутый Понт-Неф. Париж" и "Обернутый Рейхстаг. Берлин" – яркие примеры долгосрочного размещения текстильных инсталляций в среде современных городов. Здесь нет попытки "вписать" инсталляции в существующую городскую ситуацию. Художник использует исторические памятники архитектуры, "упаковывая" их в ткань, изменяя тем самым привычный городской пейзаж. "Даже незначительные дуновения ветра приводили ткань в движение, так что здание казалось неким живым объектом. Каскады ткани, ниспадавшие с крыши, создавали иллюзию динамики. Здание больше не казалось статичным. Оно все время было в движении. ... в завернутом Рейхстаге есть некая иррациональная свобода" [6], – говорил художник.

"Окруженные острова. Бискайский залив. Большой Майами. Флорида" – пример работы, которая может рассматриваться и как природная, и как городская инсталляция. Окруженные ярко-розовой синтетической тканью, острова Бискайского залива особенно хорошо видны с воздуха, контрастно выделяясь на фоне деревьев, воды и городской панорамы (рис. 1 – Христо Явашев. Инсталляция «Окруженные острова. Бискайский залив. Большой Майами. Флорида», 1983. (Источник: <https://www.architectorgallery.ru/interesting/stati/khristoyavashev>)).



Рис. 1

Работы Христо демонстрируют широкий диапазон возможностей применения ткани в качестве материала для масштабных инсталляций в природной и городской среде. Актуальность его идей в современном мире подтверждается произведениями, созданными в 2000-х гг. Можно отметить масштабные инсталляции "Ворота", Нью-Йорк, США (2005); "Плавучие пирсы", озеро Изео, Италия (2016); последний проект "Упакованная Триумфальная арка", Париж, реализованный в 2021 г. уже после смерти художника [10].

Одним из интереснейших современных авторов, создающих текстильные инсталляции в пространстве городов, является Дженет Эчельман (США). Она работает в технике, которую применяют при плетении рыбацких сетей, используя синтетические канаты [7]. Дж. Эчельман принадлежит идея создания первого в мире "текстильного памятника" – инсталляции "Она меняется", установленной в г. Порту (Португа-

лия) в 2005 г. Это произведение имеет гигантские размеры: диаметр каркасного кольца, на котором закреплена сеть, составляет 45 м. Верхняя точка каркаса находится на высоте 27 м, нижняя – 13,5 м. Интересной особенностью инсталляций Дж. Эчельман является их освещение, меняющееся в течение суток. Работа "Она меняется" в темноте подсвечена красным и белым светом, напоминающим окраску заводских труб, что является отсылкой к индустриальному прошлому региона [2, с. 174].

Многие работы Дж. Эчельман посвящены теме экологии. Можно отметить ее инсталляцию "Как будто это уже было здесь", Бостон (2015), где оставленные незаплетенными пустоты повторяют очертания холмов, которые были скрыты при постройке города [9], [11] (рис. 2 – Дженет Эчельман. Инсталляция «Как будто это уже было здесь», Бостон, 2015. (Источник: <https://www.techinsider.ru/design/235889-pletienie-iz-vysokomolekulyarnogo-polietilena-iskusstvo-dzhanet-echelman>)).



Рис. 2

Тему землетрясений и хрупкости природных экосистем раскрывают инсталляции "Голос Земли 1.26", и "Голос Земли 1.78" (2021). Цифры показывают количество секунд, на которые сократились земные сутки во время землетрясения в Чили в 2010 г. и в Японии в 2011 г. [4].

Помимо проектов инсталляций "fiber art" Христо и Дж. Эчельман, созданных для размещения в природной и городской среде, в настоящее время реализуются групповые выставки, где художники, рабо-

тающие в данном направлении, могут представить свои работы.

Размещение текстильных инсталляций в природной среде – основная идея Триеннале, которая проводится в арт-резиденции "Moon Rain Center", расположенной в живописной местности недалеко от Оттавы, Канада [14]. В 2016 г. состоялась III Триеннале, объединившая художников из разных стран мира. Приглашенным авторам важно было "вписать" свои произведения в окружающую среду, создать собственную концепцию взаимодействия или, напротив, конфликта природы и искусства.

Работы Чарли Лесколт (Канада) имели миниатюрные размеры: небольшие текстильные растения, созданные из белого полотна, прятались в густой траве. Инсталляция Йен-Ю Ценг (Тайвань), напротив, представляла собой монументальное произведение, представлявшее собой круглую "комнату" в лесу, напоминая о каменных кругах и наводившую на мысли о неких древних обрядах. Эта работа была сплетена из травы и веток [13].

Серия ярких войлочных арт-объектов Ханны Ренджер (Канада) своей очевидной "чужеродностью" бросалась в глаза и заставляла зрителя думать о странных существах, возможно, внеземного происхождения, создавших свои "гнезда" в чаще леса [13]. Подобная идея прослеживается и в инсталляциях Эйрин Энтон – известной немецкой художницы, чьи работы также были представлены в Канаде. Э. Энтон создает масштабные проекты, называемые "Интервенционная сеть вторжения". Она растягивает между деревьями капроновые ткани кислотных цветов, внутри которых вшиты шары. Все это напоминает инопланетный живой организм, захватывающий Землю [12].

Идея представить работы художников "fiber art" в городском пространстве была реализована в 2019 г. в Мадриде в рамках биеннале WTA "Стабильный город". Хотелось бы отметить инсталляцию Сеси Аранго "Роза Гваделупы" (Колумбия), выполненную в технике ткачества (рис. 3 – Сеси Аранго Инсталляция «Роза Гваде-

лупы» (фрагмент), Мадрид, 2019 (авторская фотография)).



Рис. 3

Материалом для создания этой инсталляции стали разрезанные на полоски металлические банки от популярных напитков. Совмещение текстильной техники и нетекстильного материала позволили Сеси Аранго создать эффектную инсталляцию, посвященную экологическим проблемам современного общества, устойчивую к действию атмосферных факторов [15, p.93].

В 2021-22 гг. в Москве в Музее-заповеднике "Царицыно" в рамках IV Триеннале современного гобелена впервые в истории этого проекта часть работ была представлена в пространстве парка. Художники по-разному решали проблему "живучести" своих произведений на открытом воздухе – применяли синтетические и нетекстильные материалы (М. Ермолаева, Н. Цветкова), располагали работы в пространстве парковых павильонов (А. Островская, И. Яблочкина), создавали для объекта защитный футляр (М. Щербаков) и т.д.

Инсталляция Марии Ермолаевой "Миражи" напоминала гигантские инопланетные растения. Созданные из силиконовых нитей, пластика и стекла, арт-объекты выглядели призрачно-белыми, полупрозрачными.

Белый цвет стал доминирующим и в инсталляции Наталии Цветковой "День третий. Первозданный", в которую вошли работы "Руки Творца" и "Первозданный цветок". Все части инсталляции были выпол-

нены из строительной тканой сетки, натянутой на металлический сварной каркас.

Размещенная в павильоне Нерастанкино композиция Ирины Яблочкиной "Призраки прошлого" (триптих) оживляла перед зрителем образы людей XIX в., которые когда-то прогуливались между деревьями царьцинского парка. В этой работе совмещались техники цифровой печати, ткачества и вышивки.

Александра Островская представила свою инсталляцию "Точка сборки" в павильоне Миловида. Достаточная глубина павильона позволила художнику экспонировать полотна одно за другим, в пространстве, таким образом, история, представленная в этой композиции, как бы развивается в "параллельных реальностях" [3, с. 234].

Работа Матвея Щербакова "Пандора" представляла собой арт-объект, в котором совмещались техники плетения и ткачества. В соответствии с сюжетом легенды объект помещен в прозрачный ящик из оргстекла, делающий его неуязвимым.



Рис. 4

В 2021 г. в Санкт-Петербурге в рамках III фестиваля Паблик арта во дворах Капеллы была размещена инсталляция Н.

Цветковой "Эффект бабочки", состоящая из пяти объектов-бабочек, вытканых на ручном ткацком станке в технике гобеленового ткачества (рис. 4 – Наталия Цветкова. Инсталляция «Эффект бабочки», Санкт-Петербург, 2021 (авторская фотография)).

Материалом, из которого сделаны бабочки, является полиэтилен (применялись разрезанные вручную пакеты для мусора). Благодаря устойчивости этого синтетического материала, инсталляция "Эффект бабочки" оказалась не подвержена воздействию негативных природных факторов – цвет объектов не выгорал, находясь долгое время на солнце и при выпадении осадков, легкость полиэтилена дала возможность подвешивать бабочек на тонкие тросы, таким образом, объекты реагировали на движение ветра, создавая иллюзию полета.

Инсталляция "Эффект бабочки" неоднократно экспонировалась в природной и городской среде, став частью Триеннале в Канаде (два арт-объекта), Оттава (2016), Фестиваля "Императорские сады России" (четыре арт-объекта), Санкт-Петербург (2017), Биеннале "Стабильный город" (четыре арт-объекта), Мадрид (2019). На всех этих выставках фиксация тросов для размещения арт-объектов делалась на деревьях. Фестиваль паблик арта 2021 г. подарил возможность закрепить инсталляцию непосредственно на городских зданиях, что стало уникальным творческим опытом.

ВЫВОДЫ

Объемно-пространственные произведения "fiber art", представленные в природной и городской среде, появившись во второй половине XX в., остаются актуальным направлением современного искусства; об этом свидетельствуют проекты отдельных художников, а также групповые выставки.

Количество и разнообразие инсталляций "fiber art", экспонированных в природной и городской среде, позволяют выделить их в отдельную категорию текстильного инвайронмента.

При создании арт-объектов и инсталляций "fiber art", предназначенных для экспонирования на открытом воздухе, следует

учитывать негативное влияние природно-климатических факторов и выбирать устойчивые материалы, например, синтетические нити и ткани, нетекстильные материалы или продумывать дополнительную защиту объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савицкая В. И. Превращения шпалеры. – М.: Галарт, 1995.

2. Цветкова Н.Н. Текстильные инсталляции как часть архитектурного пространства // Сб. научн. ст.: Искусство и дизайн: история и практика. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции 30 мая 2020. – СПб.: СПГХПА им. А.Л. Штиглица, 2020. С. 171...175.

3. IV Триеннале текстильного искусства и современного гобелена в "Царицыне": каталог. – М.: ГМЗ "Царицыно", 2022.

4. Инсталляции из воздушной сетки возвышаются над общественными пространствами в разных городах в произведениях Джанет Эшельман "Earthtime" // Художники, фотографы и скульпторы со всего света. URL: <https://www.risunoc.com/2021/10/earthtime-janet-echelman.html> (дата обращения: 21.06.2022).

5. Плавающий пирс, розовые острова и другие работы Христо // Elledcoration. URL: <https://www.elledcoration.ru/heroes/design/plavuchii-pirs-rozovye-ostrova-i-drugie-raboty-khristo/> (дата обращения: 22.06.2022).

6. Садовскова С. Упаковка или искусство? Христо Явашев // Журнал ярмарки искусств. URL: <https://www.livemaster.ru/topic/430607-upakovka-ili-iskusstvo-hristo-yavashev> (дата обращения: 22.06.2022).

7. Фишман Р. Плетение из высокомолекулярного полиэтилена: искусство Джанет Эчельман. // Tech Insider. URL: <https://www.techinsider.ru/design/235889-pletenie-iz-vysokomolekulyarnogo-polietilena-iskusstvo-dzhanet-echelman/> (дата обращения: 23.06.2022).

8. Христо Явашев. Авантюрист, который укутывал миры // Architector. URL: <https://www.architectorgallery.ru/interesting/stati/khristo-yavashev/> (дата обращения: 23.06.2022).

9. Экспериментальное искусство Джанет Эчельман: воздушная скульптура в небе над Бостоном // Музей дизайна. URL: <https://museum-design.ru/eksperimentalnoe-iskusstvo-janet-echelman-vozdushnaya-skulptura-v-nebe-nad-bostonom/> (дата обращения: 21.06.2022).

10. Юшкевич М. Упакованная Триумфальная арка в Париже // AD Magazine. URL: <https://www.admagazine.ru/article/upakovannaya-triumfalnaya-arka-v-parizhe> (дата обращения: 23.06.2022).

11. A Billowing Sculpture Brightens Up Boston // Architectural Digest. URL: <https://www.architecturaldigest.com/story/janet-echelman-boston> (дата обращения: 23.06.2022).

12. Irene Anton Design. URL: <http://www.irene-anton-design.de/> (дата обращения: 22.06.2022).

13. La Triennale Internationale des Arts Textiles en Outaouais. URL: <http://www.triennale-outaouais.ca/english-2016.html> (дата обращения: 23.06.2022).

14. Moon Rain Center. URL: <http://moonraincenter.blogspot.com/> (дата обращения: 23.06.2022).

15. VIII Bienal de Arte Textil Contemporáneo – WTA : catalog. Madrid, 2019.

REFERENCES

1. Savitskaya V.I. Transformation of tapestries. – M.: Galart, 1995.

2. Tsvetkova N.N. Textile installations as part of architectural space // Sat. scientific Art.: Art and design: history and practice. Materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference May 30, 2020. – St. Petersburg: SPGHPA im. A.L. Stieglitz, 2020. P.171...175.

3. IV Triennial of textile art and contemporary tapestry in "Tsaritsyn": catalogue. – M.: GMZ "Tsaritsyn", 2022.

4. Air mesh installations rise above public spaces in various cities in the works of Janet Eshelman "Earthtime" // Artists, photographers and sculptors from all over the world. URL: <https://www.risunoc.com/2021/10/earthtime-janet-echelman.html> (accessed 21.06.2022).

5. Floating pier, pink islands and other works of Christo // Elledcoration. URL: <https://www.elledcoration.ru/heroes/design/plavuchii-pirs-rozovye-ostrova-i-drugie-raboty-khristo/> (date of access: 06/22/2022).

6. Sadovskova S. Packaging or art? Christo Yavashev // Art Fair Journal. URL: <https://www.livemaster.ru/topic/430607-upakovka-ili-iskusstvo-hristo-yavashev> (date of access: 06/22/2022).

7. Fishman R. High Molecular Weight Polyethylene Weaving: The Art of Janet Echelman. // Tech Insider. URL: <https://www.techinsider.ru/design/235889-pletenie-iz-vysokomolekulyarnogo-polietilena-iskusstvo-dzhanet-echelman/> (date of access: 06/23/2022).

8. Christo Yavashev. The adventurer who wrapped the worlds // architector. URL: <https://www.architectorgallery.ru/interesting/stati/khristo-yavashev/> (date of access: 06/23/2022).

9. Experimental art by Janet Echelman: aerial sculpture in the sky over Boston // Design Museum. URL: <https://museum-design.ru/eksperimentalnoe-iskusstvo-janet-echelman-vozdushnaya-skulptura-v-nebe-nad-bostonom/> (date of access: 06/21/2022).

10. Yushkevich M. Packed Arc de Triomphe in Paris // AD Magazine. URL: <https://www.admagazine.ru/article/upakovannaya-triumfalnaya-arka-v-parizhe> (Date of access: 06/23/2022).

11. A Billowing Sculpture Brightens Up Boston // Architectural Digest. URL: <https://www.architectural-digest.com/story/janet-echelman-boston> (accessed 06/23/2022).

12. Irene Anton Design. URL: <http://www.irene-anton-design.de/> (date of access: 06/22/2022).

13. La Triennale Internationale des Arts Textiles en Outaouais. URL: <http://www.triennale-outaouais.ca/english-2016.html> (accessed 23.06.2022).

14. Moon Rain Center. URL: <http://moonraincentre.blogspot.com/> (Accessed: 06/23/2022).

15. VIII Bienal de Arte Textil Contemporáneo – WTA : catalog. Madrid, 2019.

Рекомендована кафедрой художественного текстиля. Поступила 15.08.22.

УДК 678.7

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_207

**ПОЛИЭФИРИМИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
НАПОЛНЕННЫЕ АППРЕТИРОВАННЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ ВОЛОКНАМИ***

POLYESTERIMIDE COMPOSITES FILLED WITH SIZED GLASS FIBERS

*А.А. БЕЕВ, С.Ю. ХАШИРОВА, А.Л. СЛОНОВ, И.В. МУСОВ,
Д.А. БЕЕВА, А.А. ЖАНСИТОВ, И.В. ДОЛБИН*

*A.A. BEEV, S.YU. KHASHIROVA, A.L. SLONOV, I.V. MUSOV,
D.A. BEEVA, A.A. ZHANSITOV, I.V. DOLBIN*

(Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

(Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekova)

E-mail: d.beeva@mail.ru

Развитие многих передовых технологий, в том числе аддитивных, требует создания новых композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками. Такие материалы требуются и в 3D-печати. Одной из причин невысоких эксплуатационных характеристик полимерных композитов, в частности, прочностных, являются низкие межслойные взаимодействия на границе наполнитель-полимер. Для повышения межграницной адгезии компонентов композиционного материала, тем самым повышения их "сродства", принято проводить модификацию поверхности наполнителей. Исходя из изложенного, цель представленной работы заключается в исследовании процессов аппретирования поверхности стеклянного волокна и выяснение его влияния на свойства полиэфиримидных стекловолоконных композиционных материалов. Выявлено, что предварительной температурной обработкой стеклянных волокон и последующей обработкой аппретом – сополигидроксиэфиром на основе ди(4-оксифенил)-сульфона, ди(4-оксифенил)-пропана и 3-хлор-1,2-эпоксипропана можно получать полиэфиримидные композиционные стеклонаполненные материалы с улучшенными физико-механическими свойствами.

The development of many advanced technologies, including additive ones, requires the creation of new composite materials with improved performance characteristics. Such materials are also required in 3D-printing. One of the reasons for the

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 14.577.21.0240 от 26 сентября 2017 года. Идентификатор проекта: RFMEFI57717X0240. Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Полимеры и композиты» Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова.

low performance characteristics of polymer composites, in particular, strength, are low interlayer interactions at the filler-polymer interface. To increase the interboundary adhesion of the components of the composite material, thereby increasing their "affinity", it is customary to modify the surface of the fillers. Based on the foregoing, the purpose of the presented work is to study the processes of finishing the surface of glass fibers and elucidate its effect on the properties of polyesterimide glass fiber composite materials. It was found that pre-temperature treatment of glass fibers and subsequent treatment with a sizing - copolyhydroxyether based on di(4-hydroxyphenyl)-sulfone, di(4-hydroxyphenyl)-propane and 3-chloro-1,2-epoxypropane can be used to obtain polyester etherimide composite glass-filled materials with improved physical and mechanical properties.

Ключевые слова: стеклянное волокно, активация поверхности, 4,4'-диоксифенилпропан, метиленхлорид, сополигидроксиэфир, полиэфиримид, аппретирование, физико-механические свойства.

Keywords: glass fiber, surface activation, 4,4'-dioxydiphenylpropane, methylenechloride, copolyhydroxyether, polyetherimide, finishing, physical and mechanical properties.

Введение

В настоящее время все большее распространение в промышленности и на производстве получают армированные изделия с различной природой наполнителя [1], [2]. Особое место среди наполнителей занимают стеклянные волокна (СВ), которые относятся к одному из самых широко применяемых [3...6] армирующих наполнителей при создании большого количества композиционных материалов, начиная от производства душевых, ванн, домашних бассейнов и заканчивая автомобильной, авиационной, космической техникой, электроникой и аддитивными технологиями. Такую высокую популярность стеклянные волокна получили благодаря обширному комплексу полезных эксплуатационных свойств, придаваемых ими композитам, в частности, содержащим в качестве связующего, органические полимеры.

К таким полезным свойствам СВ можно отнести: высокое удельное сопротивление, превосходящее сталь; хорошая электроизоляционная способность; низкие значения коэффициента линейного расширения и теплопроводности, позволяющие сохранять геометрию изделий; способность сочетаться с многочисленными синтетическими полимерами; высокие значения огнестойкости и антисептических показателей,

обеспечивающие превосходную пожаробезопасность и долговечность конструкций.

Развитие современных динамичных технологий, к примеру, аддитивных, предъявляет более высокие требования к изделиям специального назначения, которые эксплуатируются в экстремальных условиях. Это относится к полимерным композиционным материалам (ПКМ), когда требуются материалы с повышенными реологическими и физико-механическими характеристиками.

Одним из путей повышения эксплуатационных характеристик полиэфиримидных стекловолоконистых композиционных материалов является аппретирование поверхности стеклянных волокон, позволяющего модифицировать структуру межфазного слоя и увеличить межмолекулярные адгезионные взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель.

К настоящему моменту разработаны различные виды аппретирующих добавок, используемых при создании полимерных композиционных материалов. Так, в работе [7] описывается способ аппретирования стекловолокна фосфоркремнийорганическими эфирами. Авторы для реализации решения используют высокотоксичный растворитель – ксилол для нанесения на стек-

лянный холст смеси мономеров. Для удаления ксилола приходится поднимать температуру до 120°C. Присутствие в структуре аппарата алифатических группировок ухудшает термостойкость и теплостойкость композитов.

Состав для обработки стеклоткани [8] содержит эпоксипропоксипропилтриэтоксисилан, γ -аминопропил-триэтоксисилан, глицерин или этиленгликоль, уксусную кислоту и дистиллированную воду. Этот состав придает жесткость после аппретирования, что приводит к образованию на поверхности стеклоткани ворса из разрушенных филаментов. В процессе переработки стеклоткани методом пропитки эпоксидными, фенольными, меламиновыми связующими на месте разрушенных филаментов на ткани образуются рельефные, неоднородные участки, которые трудно переработать методом прессования. Кроме этого, данный аппрет имеет недостаточно высокие скорости смачивания стеклоткани.

Комплексный аппретировующий состав [9] содержит полифункциональный силан марки Z-6224, уксусную или муравьиная кислоту, смачиватель сандоклин РСJ и дистиллированную воду. Для высокотемпературных 3D-технологий состав непригоден, так как содержит кислоты, которые приведут к накоплению ионов, результатом чего будет коррозия металлических поверхностей и ухудшение диэлектрических свойств композиционных материалов.

Полимерные композиции [10] на основе полимерного связующего (аппрета) и стеклоткани или углеродного наполнителя получены предварительным синтезом связующего. Аппрет является олигомером, продуктом взаимодействия тетранитрила ароматической тетракарбоновой кислоты и ароматического бис-о-цианамина. Неполная степень конверсии мономеров во время синтеза может привести к выделению побочных низкомолекулярных продуктов реакции при совмещении связующего с наполнителем при повышенной температуре, а следовательно, к образованию пустот в композиционном материале, что будет приводить к ухудшению прочностных характеристик материала. Кроме того, ап-

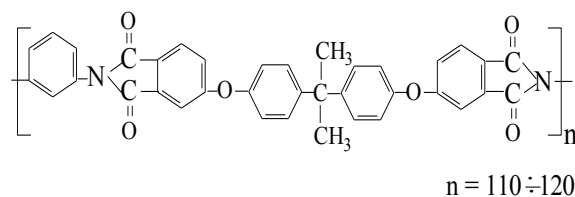
прет используют в порошкообразном состоянии и, как следствие, недостаточно равномерно будет покрывать поверхность наполнителя.

Для достижения как можно более высоких значений физико-механических и теплофизических свойств проводят комплексную обработку поверхности стеклянных волокон, которая включает активацию поверхности наполнителя активаторами и последующее нанесение различных аппретов. Роль аппретировующих веществ выполняют органические полимеры олигомеры, или мономеры. В сформированных композиционных материалах аппрет выполняет две основные функции: защита СВ от нежелательных воздействий при последующей переработке и также выступает как адгезивное соединение, повышающее силы межмолекулярного взаимодействия на границах раздела фаз органическое вещество – неорганический субстрат в процессе получения композитных стеклянистых материалов.

В представленной работе исследованы процессы активации и последующего аппретирования дискретных стеклянных волокон органическими соединениями – сополигидроксиэфиром (СПГЭ) на основе ди(4-оксифенил)-сульфона (ДОФС_n), ди(4-оксифенил)-пропана (ДОФП) и 3-хлор-1,2-эпоксипропана, и получение полиэфиримидных композиционных полимерных материалов с аппретированными стеклянными волокнами.

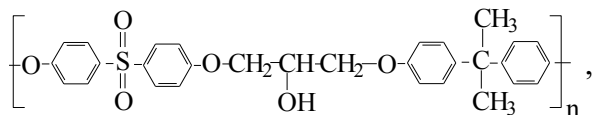
Экспериментальная часть

В работе использовали стеклянное волокно марки RK-306 (IFI Technical Production). Матричный полимер представляет собой промышленный полиэфиримид ULTEM-1010, являющийся продуктом поликонденсации 1,4-диаминобензола и диангида 2,2'-бис[4(3,4-дикарбоксифенокси)фенил]-пропана:



с приведенной вязкостью 0,61 дл/г, измеренной для 0,5%-ного раствора в хлороформе.

Полиэфиримидные композиционные материалы, армированные стеклянными наполнителями, получали предварительной обработкой стеклянного волокна аппретизирующим составом, представляющим собой раствор сополигидроксиэфира:



где $n = 80 \div 95$, в легкоретучем органическом растворителе метилхлориде с концентрациями 0,23...0,91 масс%, причем количество аппретизирующего вещества к стеклянному волокну соответствует 1...4 масс.%, тогда как количество аппретированного стеклянного волокна в композиционном материале соответствует 20 масс. %. Обработка таким аппретом повышает смачиваемость наполнителя полиэфиримидом позволяет многократно проводить при необходимости термообработку получаемого изделия без изменения свойств аппрета.

Ниже представлен пример, иллюстрирующий способ получения аппретированных стеклянных волокон.

Приготовление аппретированного СВ с 1 масс.% СПГЭ.

В трехгорлую круглодонную колбу, снабженную прямым холодильником, нагревателем и мешалкой, помещают 25 г дискретного СВ с длиной волокон 3 мм и приливают раствор, полученный растворением 0,25 г СПГЭ в 110 мл метилхлорида (0,23 %). Включают мешалку и перемешивают в течение 20 мин при температуре 20°C. Далее проводят нагревание содержимого колбы и отгонку метилхлорида по режиму: 30°C – 25 мин; 35°C – 25 мин; 40°C – 30 мин; 50°C – 30 мин.

Аппретированное волокно сушат в сушильном шкафу под вакуумом при 80...90°C в течение 2 часов.

Поверхности волокон исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Полиэфиримидные композиционные материалы получали путем предварительного смешения полимерной матрицы и активированного и аппретированного углеродного волокна с использованием высокоскоростного гомогенизатора Multi function disintegrator VLM-40B. Затем полимерная смесь подвергается экструзии с использованием лабораторного двухшнекового экструдера с тремя зонами нагрева при температурных режимах переработки 200°C, 315°C, 355°C. Механические испытания композитов на одноосное растяжение выполнены на образцах в форме двухсторонней лопатки с размерами согласно ГОСТ 112 62–80, на универсальной испытательной машине Gotech Testing Machine СТ-TCS 2000 (Тайвань). Определение предела прочности при изгибе проведено на образцах с размерами 80×10×4 мм по ГОСТ 4648–2014. Использованы стеклянное волокно марки RK-306 (IFI Technical Production) и полиэфиримид (ПЭИ) марки ULTEM-1010 с приведенной вязкостью 0,6 дл/г 0,5%-ного раствора в хлороформе, сополигидроксиэфир (СПГЭ) с приведенной вязкостью 0,48 дл/г 0,5%-ного раствора в хлороформе, метилхлорид марки "Ч".

Обсуждение результатов

Поверхность стеклянных волокон активировалась термической обработкой и химической обработкой плавиковой кислотой. Предварительно поверхность стекловолокна освобождалась от низкотемпературного защитного покрытия.

В ИК-спектрах (рис. 1 – ИК-спектры термически обработанного (1), термически необработанного (2) стекловолокна и хлороформного смыва (3) с поверхности термически необработанного стекловолокна) термически необработанного (рис. 1, спектр 2) СВ присутствуют слабовыраженные пики, соответствующие таковым в спектре органического защитного покрытия (рис. 1, спектр 3). Например, характеристические полосы с пиками в области 1730, 1510, 1370 см⁻¹. В спектрах термообработанного волокна (рис. 1, спектр 1) пики, соответствующие защитному покрытию, отсутствуют.

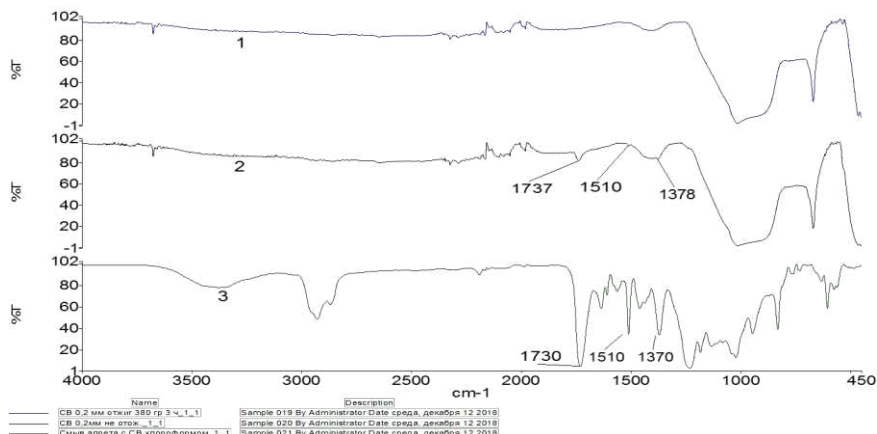


Рис. 1

Анализ структуры поверхностных слоев различных стеклянных волокон показывает [10], что их состав и структура существенно отличаются от внутренних как при термической обработке, так и при выдержке на открытом воздухе из-за возможных химических реакций с компонентами окружающей среды. Эти реакции приводят к образованию новых структурных элементов на поверхности и формированию на ней других функциональных групп. Например, оксид углерода (IV), взаимодействуя с поверхностью стекловолокон, дает гидрокарбонаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов. Этот процесс вызывает понижение щелочности поверхностных слоев, который, в свою очередь, способствует метаморфозе структуры кремнекислородного каркаса.

В результате увлажненную поверхность стекловолокна можно представить следующим образом (рис. 2 – строение увлажненной поверхности стекловолокна):

При этом по реакционной способности, согласно ИК-спектроскопии, все поверх-

ностные гидроксилы можно разделить на три группы [12]: 1) терминальные силанольные группы ($3740...3750\text{ см}^{-1}$); 2) вици-нальные силанольные группы, связанные слабой водородной связью ($3640...3680\text{ см}^{-1}$); 3) вицинальные силанольные группы, связанные сильной водородной связью ($3450...3550\text{ см}^{-1}$).

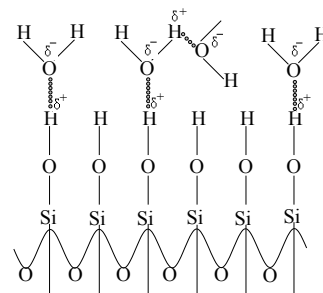


Рис. 2

На рис. 3 представлены снимок СЭМ (а) и элементный состав термически обработанного (б), термически и химически обработанного плавиковой кислотой (в) стеклянного волокна длиной 3 мм; – 4960^x.

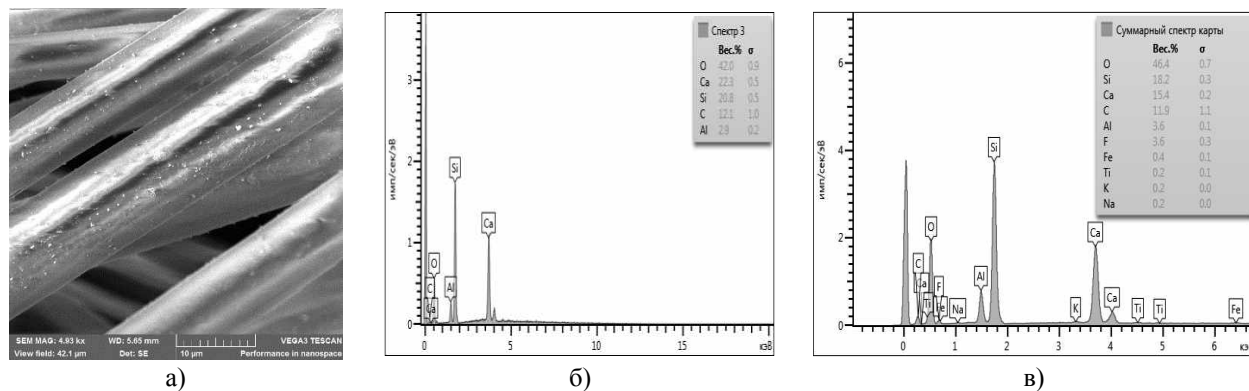


Рис. 3

Из рис. 3-в видно, что при обработке СВ плавиковой кислотой на его поверхности фиксируются атомы фтора. Для получения стекловолокон с высокой активностью к различным поверхностям необходимо продолжить работы в этом направлении с целью замещения атомов фтора на другие функциональные группы, обладающие большим сродством к аппретам.

На следующем рисунке показаны дан-

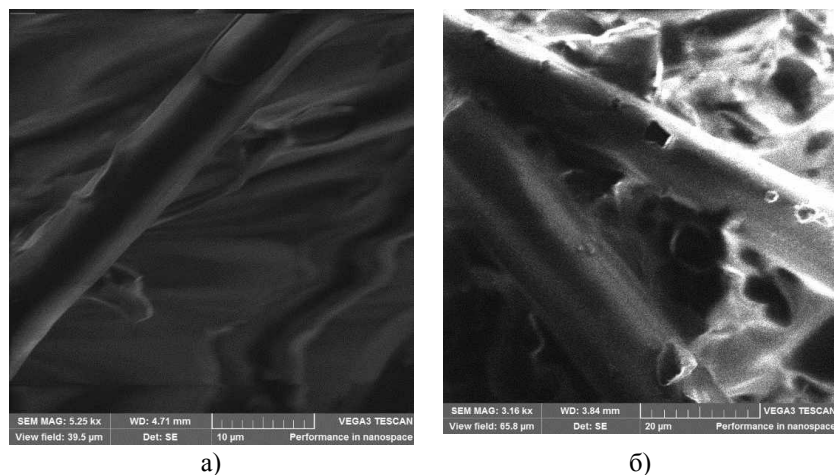


Рис. 4.

Можно заметить, что аппретирующее соединение – сополигидроксиэфир покрывает тонкой пленкой филаменты стеклянного волокна, как бы "сглаживая" микро-неоднородности.

Из аппретированных СВ и ПЭИ получены ПКМ, содержащие 20 масс. % обра-

ботанных сополигидроксиэфиром стекловолокон.

В табл. 1 представлены физико-механические и реологические свойства "чистого" ПЭИ и композита с термообработанным, неаппретированным СВ 3 мм.

Таблица 1

Состав (масс. %)	ПТР, г/10 мин	A _p , кДж/м ² 11 Дж		E _{изг} , ГПа	σ _{изг} , МПа	E _{раст} , ГПа	σ _{разр} , МПа
		б/н	с/н				
ПЭИ	13,2	75,5	6,1	3,6	112,4	2,8	88,0
ПЭИ + 20 % СВ неаппретированный	6,8	27,6	3,6	4,9	142,6	3,86	97,7

П р и м е ч а н и е. ПТР – показатель текучести расплава, A_p – ударная прочность, E_{изг} – модуль упругости при изгибе, σ_{изг} – предел прочности при изгибе, E_{раст} – модуль упругости при растяжении, σ_{разр} – предел прочности при растяжении.

С целью создания полиэфиримидных стекловолкнистых композитов с более высокими значениями приведенных механических показателей были проведены исследования по процессам аппретирования активированных термической обработкой волокон.

В табл. 2 приведены некоторые реологические и физико-механические свойства полиэфиримидных композиционных материалов, содержащих 20 % термообработанных и аппретированных стеклянных волокон.

Содержание СПГЭ в СВ, масс. %	ПТР, г/10 мин	A _p , кДж/м ² 11 Дж		E _{изг} , ГПа	σ _{изг} , МПа	E _{раст} , ГПа	σ _{разр} , МПа
		б/н	с/н				
1,0	9,6	29,2	5,8	6,53	182,5	5,1	117,8
1,5	9,7	29,5	5,9	6,61	184,6	5,12	119,2
2,0	9,5	30,7	6,4	6,69	186,8	5,26	122,4
2,5	9,9	32,6	6,7	6,77	189,2	5,35	124,5
3,0	10,4	32,7	6,8	6,85	191,3	5,43	126,3
3,5	10,3	31,1	6,8	6,82	190,7	5,32	124,1

Из данных таблицы следует, что активация и последующее аппретирование в большинстве случаев приводят к получению стеклонаполненных полиэфиримидных композитов по сравнению с композитами, содержащими необработанное стекловолокно.

Исключение составляют композиты, которые содержат только обработанное плавиковой кислотой стекловолокно. Можно предположить, что в этом случае плавиковая кислота разрушает отдельные филаменты волокна, а также замещает на атомы фтора гидроксильные группы на поверхности стекловолокна. Последнее должно приводить к уменьшению межмолекулярных взаимодействий гидроксидов на поверхности СВ с полярными группировками аппретов. Следствием этого является понижение физико-механических свойств композитов. Есть большая вероятность, что путем подбора концентрации плавиковой кислоты, регулированием температурно-временных режимов, обработки ею стекловолокна, можно добиться получения ПКМ с повышенными физико-механическими характеристиками.

Полученные в работе результаты по процессам температурной активации поверхности и аппретированию СВ, исследованию физико-механических свойств полиэфиримидных стеклонаполненных композитов и, учитывая химическое строение полиэфиримида, активированных поверхностей СВ и сополигидроксиэфира, можно предположить, что наиболее вероятными механизмами граничных взаимодействий в композитах являются механизмы, представленные на рис. 5.

Образование приведенных межмолекулярных водородных связей между полярными функциональными группами поли-

эфиримида, макромолекулами аппрета и активированными стеклянными волокнами по такому вероятному механизму, безусловно, будет способствовать формированию композиционных материалов с высокими физико-механическими характеристиками.

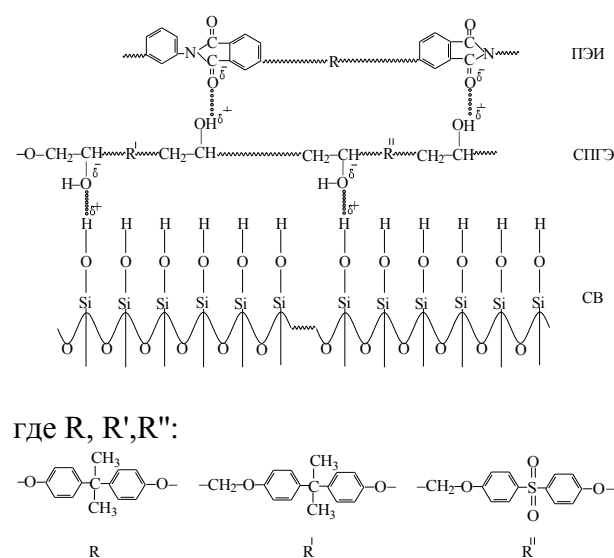


Рис. 5

ВЫВОДЫ

Все изложенные в представленной работе сведения вкупе с ранее полученными результатами [13...15] позволяют сделать заключение о том, что при проведении комплексной, грамотной обработки стеклянного волокна (термической, химической, или другой активации и последующим аппретированием), удачном подборе химической природы аппретирующего химического соединения, можно формировать полимерные композиционные материалы с высоким спектром эксплуатационных полезных характеристик.

1. Румянцев Е.В., Степанов С.Г., Киселев М.В., Матрохин А.Ю., Трещалин Ю.М. Полимерные композиционные материалы на волокнистой основе: тенденции развития, характеристики, научные направления и технологии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С.21...29.

2. Зарецкая Г.П., Базаев Е.М., Руднева Т.В., Лунина Е.В. Технологии трехмерного армирования текстильными и швейными методами конструкций из полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С. 107...115.

3. Зазулина З. А., Дружинина Т.В., Конкин А.А. Основы технологии химических волокон. – М.: Химия, 1985.

4. Бухаров С.В., Мийченко И.П. Наполнители для полимерных материалов. – "МАТИ" - Российский государственный технологический университет им. Циолковского К.Э. – М., 2010.

5. <https://stroy-podskazka.ru/orgsteklo/harakteristiki/>

6. <https://gigabaza.ru/doc/196041-pall.html/>

7. Авторское свидетельство СССР № 345249. Опубл. 14.07.1972. Бюл. № 22.

8. Авторское свидетельство СССР №1669883. 1991 г.

9. Патент Белоруссии № 11045. 08.30.2008.

10. Патент РФ № 2201423. Опубл. 27.03.2003.

11. Бунаков В.А., Головкин Г.С., и др. Армированные пластики – М.: МАИ, 1997.

12. Трофимов Н.Н., Каленчук А.Н., Канович М.З. Анализ физико-химических процессов, проходящих в переходном слое системы стекловолокно-аппрет-связующее. – М.: НИИТЭХИМ, 1991.

13. Беев А.А., Беева Д.А., Мусов И.В., Ржевская Е.В., Хаширова С.Ю. Угленаполненные полимерные композиты на основе высокотемпературного термопластичного связующего // Химические волокна. – 2018, № 6. С. 66...68.

14. Патент РФ № 2710559, опубл. 27.12.2019. Бюл. № 36.

15. Beev A.A., Slonov A.L., Musov I.V., Zhansitov A.A., Beeva D.A., Khashirova S.Yu. The Effect of Sizing Additives for Carbon Fiber on the Mechanical Properties of Polyetherimide Composites // Key Engineering Materials. – 2020. V. 869. P. 488...493.

1. Rumyantsev E.V., Stepanov S.G., Kiselev M.V., Matrokhin A.Yu., Treschaln Yu.M. Polymer composite materials on a fibrous basis: development trends, characteristics, scientific directions and technologies. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 6. P. 21...29.

2. Zaretskaya G.P., Bazaev E.M., Rudneva T.V., Lunina E.V. Technologies of three-dimensional reinforcement by textile and sewing methods for structures made of polymer composite materials. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 6. P. 107 ... 115.

3. Zazulina Z.A., Druzhinina T.V., Konkin A.A. Fundamentals of technology of chemical fibers. – М.: Chemistry, 1985.

4. Bukharov S.V., Miichenko I.P. Fillers for polymeric materials. - "MATI" - Russian State Technological University. Tsiolkovsky K.E. – М., 2010.

5. <https://stroy-podskazka.ru/orgsteklo/harakteristiki/>

6. <https://gigabaza.ru/doc/196041-pall.html/>

7. Author's certificate of the USSR № 345249. Publ. 07/14/1972. Bull. № 22.

8. Author's certificate of the USSR № 1669883. 1991

9. Patent of Belarus № 11045. 08.30.2008.

10. Patent of the Russian Federation № 2201423. Publ. 03/27/2003.

11. Bunakov V.A., Golovkin G.S., et al. Reinforced plastics – М.: МАИ, 1997.

12. Trofimov N.N., Kalenchuk A.N., Kanovich M.Z. Analysis of physical and chemical processes taking place in the transition layer of the fiberglass-sizing-binder system. – М.: НИИТЕХИМ, 1991.

13. Beev A.A., Beeva D.A., Musov I.V., Rzhetskaya E.V., Khashirova S.Yu. Carbon-filled polymer composites based on high-temperature thermoplastic binder // Chemical fibers. – 2018, № 6. P. 66...68.

14. RF patent No. 2710559, publ. 12/27/2019. Bull. № 36.

15. Beev A.A., Slonov A.L., Musov I.V., Zhansitov A.A., Beeva D.A., Khashirova S.Yu. The Effect of Sizing Additives for Carbon Fiber on the Mechanical Properties of Polyetherimide Composites // Key Engineering Materials. – 2020. V. 869. P. 488 ... 493.

Поступила 01.08.22.

**СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ МАНГИФЕРИНА В НАНОВОЛОКНА ПВС-ХИТОЗАН**

**THE DEVELOPMENT OF DELIVERY SYSTEM AND THE INVESTIGATION
OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ELECTROSPINNING
FOR THE INTEGRATION OF MANGIFERIN INTO PVA-CHITOSAN NANOFIBERS**

*ТХИ ХОНГ НЬУНГ ВУ, С.Н. МОРОЗКИНА, М.В. УСПЕНСКАЯ
THI HONG NHUNG VU, S.N. MOROZKINA, M.V. USPENSKAYA*

(Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия)

(ITMO University, St. Petersburg, Russia)

E-mail: vuhongnhungs@gmail.com; i_norik@mail.ru; mv_uspenskaya@mail.ru

Мангиферин, являясь природным антиоксидантом, эффективен при лечении многих серьезных заболеваний. Практическое применение мангиферина ограничено из-за его чрезвычайно низкой растворимости в воде. Интеграция мангиферина в биосовместимую и безопасную полимерную матрицу позволяет увеличить его биодоступность и обеспечить направленное действие. В исследовании впервые создана система доставки и изучены технологические параметры процесса электроформования нановолокна ПВС-хитозан, интегрированного с мангиферином.

Mangiferin, being a natural antioxidant, is effective in the treatment of many serious diseases. The practical use of mangiferin is limited due to its extremely low solubility in water. The integration of mangiferin into a biocompatible and safe polymer matrix makes it possible to increase its bioavailability and provide targeted action. In the study, a delivery system was developed and the technological parameters of the electrospinning process of PVA-chitosan nanofibers integrated with mangiferin were studied for the first time.

Ключевые слова: мангиферин, электроформование, ПВС, хитозан, нановолокна.

Keywords: Mangiferin, electrospinning, PVA, chitosan, nanofibers.

Введение

Создание систем доставки лекарственных средств, включающих биологически активные вещества – антиоксиданты, – важнейшая задача персонализированной медицины, что позволяет разработать лекарственные препараты для лечения различных заболеваний: от желудочно-кишечных расстройств до диабета и ожирения. Мангиферин – один из самых эффективных природных антиоксидантов, содержащийся

в ряде растений, в том числе, в листьях, коре, стеблях, кожуре фруктов и корнях манго [1...4]. Многочисленные исследования мангиферина проведены с момента его выделения из манго (*Mangifera indica L.*, семейство *Anacardisaceae*) в 1908 году. Ксантоноид, или, норатириол глюкозид, был идентифицирован как структура мангиферина [1], [2].

Мангиферин с момента его обнаружения используется как природное лекарство.

Растения с высоким содержанием мангиферина используются в народной медицине для лечения различных заболеваний, включая сердечно-сосудистые заболевания, инфекции, гипогликемию, ожоги, заболевания печени и рак [1], [4...8]. Согласно исследованиям *in vitro* и *in vivo*, мангиферин обладает многими биологическими свойствами, но до сих пор ему уделялось мало внимания, из-за его ограниченной растворимости в воде и низкой биодоступности [9...12].

Чтобы преодолеть существующие проблемы для практического использования мангиферина как лекарственного препарата, а именно: преодолеть ограничения, связанные с растворимостью мангиферина, и усилить действие препарата на пораженные клетки и органы, нами успешно разработана система доставки мангиферина на основе биосовместимой полимерной матрицы и получены нановолокна на основе ПВА/хитозан с мангиферин.

Для создания нановолокна ПВС-хитозан-мангиферин необходимо было определить влияние трех технологических параметров на процесс электроформования: расстояние между иглой и коллектором, скорость подачи раствора и напряжение.

Экспериментальная часть

Материалы и методы

В работе использовались поливиниловый спирт марки ПВС-16/1 (тех) с молекулярной массой 75 кДа, ГОСТ ТУ: ГОСТ 10779–78 и хитозан с молекулярной массой 200 кДа по ТУ 9289-067-00472124-03. Мангиферин ($C_{19}H_{18}O_{11}$) был приобретен у Gute Chemie-abcg, $\geq 98\%$, номер CAS 4773-96-0. Была использована трехкомпонентная система растворителей: дистиллированная вода, уксусная кислота 99,5% (ГОСТ 61-75) и этанол 98%.

Нановолокна из раствора ПВС/хитозан/мангиферин получали методом электроспиннинга на установке НАНОН-01А (МЕСС СО., LTD., Япония). Нановолокна для исследования получали при варьировании следующих параметров: расстояние между иглой и коллектором от 120 до 150 мм, скорости подачи раствора от 0,1 до 0,4 мл/ч и при напряжении между иглой и коллектором от 26 до 30 кВ.

Концентрации составляющих полимерной матрицы, определенные при исследовании водной композиции для получения нановолокон ПВС/хитозан/мангиферин, составляли: 4,0% ПВС, 3,0% хитозана, 0,5% мангиферина, 15% этанола и 45% уксусной кислоты. Все используемые концентрации выражены в процентах по массе (% мас./мас.).

Результаты

1. Расстояние между иглой и коллектором

При исследовании влияния расстояния между иглой и коллектором на средний диаметр волокна скорость подачи раствора и напряжение между иглой и коллектором были равны 0,2 мл/ч и 28 кВ соответственно. Расстояние между иглой и коллектором изменялось в пределах от 120 до 150 мм с шагом в 10 мм.

На рис. 1 представлены фотографии полученных волокон при изменении расстояния между иглой и коллектором 120...150 мм при различном увеличении и гистограмма диаметров полученных нановолокон. В табл. 1 представлены результаты расчета среднего диаметра полученных нановолокон при расстоянии между иглой и коллектором 120...150 мм.

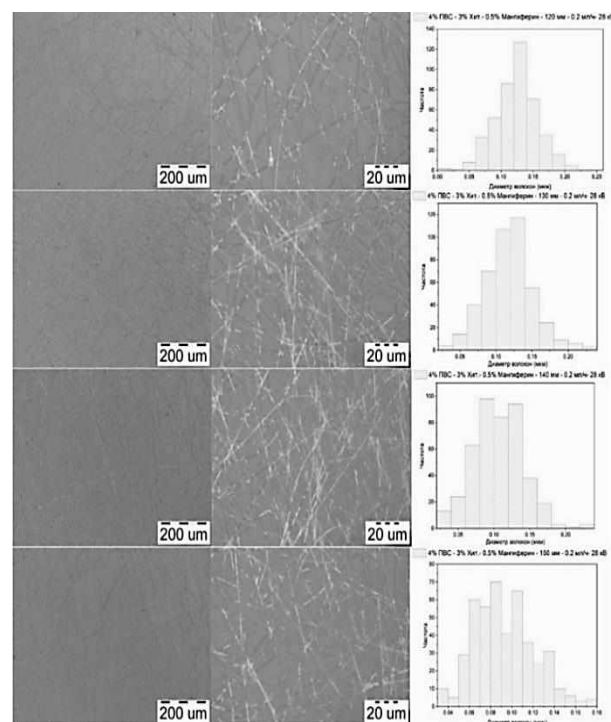


Рис. 1

Таблица 1

Расстояние между иглой и коллектором, мм	120	130	140	150
Средний диаметр волокон, нм	124	117	106	92
Стандартное отклонение	35	34	34	28

Таблица 2

Скорости подачи раствора, мл/ч	0,1	0,2	0,3	0,4
Средний диаметр волокна, нм	114	92	99	110
Стандартное отклонение	34	28	30	31

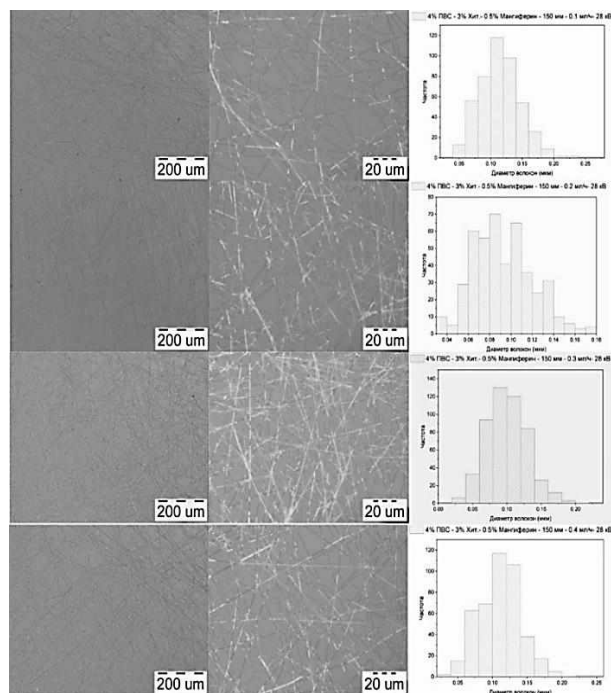


Рис. 2

Как видно из фотографий, изменение расстояния между иглой и коллектором не приводит к появлению дефектов, таких как капли, мостики и т.д. Анализ влияния расстояния между иглой и коллектором показывает, что при увеличении расстояния от 120 до 150 мм средний диаметр полученных нановолокон уменьшается со 130 до 90 нм.

2. Скорость подачи раствора

Исследование влияния скорости подачи раствора на средний диаметр нановолокон проводили при напряжении между иглой и коллектором, равном 28 кВ, расстоянии между иглой и коллектором – 150 мм и варьировании скорости подачи раствора в диапазоне 0,1...0,4 мл/ч. На рис. 2 представлены фотографии полученных нановолокон, а в табл. 2 представлены результаты расчета среднего диаметра при скорости подачи раствора 0,1...0,4 мл/ч.

Из анализа фотографий видно, что изменение скорости подачи раствора не приводит к появлению дефектов, и их морфология достаточно схожа.

Из анализа данных табл. 2 видно, что нановолокна с наименьшим диаметром были получены при скорости подачи раствора, равный 0,2 мл/ч.

3. Напряжение между иглой и коллектором

Электроформование растворов было исследовано при напряжении между иглой и коллектором от 26 до 30 кВ, при поддержании расстояния между иглой и коллектором, равного 150 мм, и скоростью подачи раствора 0,2 мл/ч. Фотографии полученных нановолокон и средний диаметр полученных нановолокон представлены на рис. 3 и в табл. 3 соответственно.

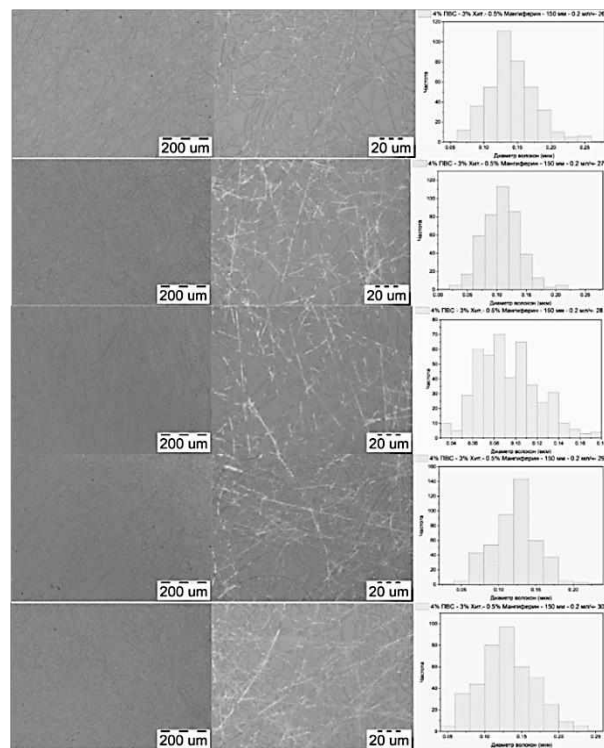


Рис. 3

Напряжения между иглой и коллектором, кВ	26	27	28	29	30
Средний диаметр волокна, нм	130	108	92	121	141
Стандартное отклонение	38	34	28	31	37

Анализ фотографий и данных таблицы показывает, что волокна во всем диапазоне изменения напряжения между иглой и коллектором не имеют дефектов, при этом минимальный средний диаметр волокон получается при напряжении 28 кВ.

ВЫВОДЫ

Нами впервые создана система доставки и успешно осуществлено изготовление нановолокон на основе ПВС и хитозана, интегрированных с мангиферином. Концентрации компонентов раствора подобраны следующие: 4,0% ПВС, 3,0% хитозана, 0,5% мангиферина, 45% уксусной кислоты и 15% этанола. Для получения нановолокон на основе ПВС/хитозан/мангиферин с минимальным средним диаметром оптимальные технологические параметры электроформования равны: расстояние между иглой и коллектором 150 мм, скорость подачи раствора 0,2 мл/ч и напряжение между иглой и коллектором 28 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bhatia V.K., Ramanathan J.D., Seshadri T.R.* Constitution of Mangiferin // *Tetrahedron* – 1967. V.23. P. 1363...1368. doi:https://doi.org/10.1016/0040-4020(67)85090-7.
2. *Bhatia V.K., Seshadri T.R.* Synthesis of Mangiferin // *Tetrahedron Lett.* – 1968. V. 14. P.1741...1742. doi:10.1016/s0040-4039(01)99040-9.
3. *Wiechowski W.* Phytochemical and Pharmacological Investigations on Mangiferin// *Lotos.* – 1908. V.56.
4. *Matkowski A., Kuś P., Góralaska E., Woźniak D.* Mangiferin – a Bioactive Xanthonoid, Not Only from Mango and Not Just Antioxidant. // *Mini Rev Med*

Chem. – 2013. V.13. P.439...455. doi:10.2174/1389557511313030011.

5. *Vyas A., Syeda K., Ahmad A., Padhye S., Sarkar F.H.* Perspectives on Medicinal Properties of Mangiferin. *Mini Rev // Med Chem.* – 2012. V. 12. P.412...425, doi:10.2174/138955712800493870.

6. *Stoilova I., Jirovetz L., Stoyanova A., Krastanov A., Gargova S., Ho L.* Antioxidant Activity of the Polyphenol Mangiferin // *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry.* – 2008. V. 7. P. 2706...2716.

7. *Mujawdiya P., Kapur S.* Mangiferin: A Potential Natural Molecule for Management of Metabolic Syndrome // *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* – 2015. V. 7. P.9...13.

8. *Bera S., Chaudhuri S., Dutta D.* Assessment of Free-Radical Scavenging Activities of Mangiferin from *Curcuma Amada* Obtained by Non-Conventional Extraction Methods: A Comparative Study // *Indian Journal of Biotechnology.* – 2015. V. 14. P. 179...185.

9. *Pal C.B.T., Jadeja G.C.* Microwave-Assisted Extraction for Recovery of Polyphenolic Antioxidants from Ripe Mango (*Mangifera Indica L.*) Peel Using Lactic Acid/Sodium Acetate Deep Eutectic Mixtures // *Food Science and Technology International.* – 2019. V. 26. P. 78...92, doi:10.1177/1082013219870010.

10. *W. Hui-xian W., Zhi-ping D., Jia-gang W., Q.L.L.X.* Improvement in the Solubility of Mangiferin by HP-β-CD Inclusion с Chinese Traditional Patent Medicine. – 2008.

11. *Sethiya N.K., Nahata A., Dixit V.K.* Simultaneous Spectrofluorimetric Determination of Scopoletin and Mangiferin in a Methanolic Extract of *Cassia Tora* // *Asian Journal of Traditional Medicines.* – 2008. V.3. P. 224...229.

12. *Morozkina S.N., Nhung Vu T.H., Generalova Y.E., Snetkov P.P., Uspenskaya M.V.* Mangiferin as new potential anti-cancer agent and mangiferin-integrated polymer systems-a novel research direction // *Biomolecules.* – 2021. V. 11. № 1. P. 1...27, doi: 10.3390/biom11010079.

Поступила 01.08.22.

**СВОЙСТВА ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АГМ-9
И ОКИСЛЕННОГО ПАН-ЖГУТИКА**

**PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIAL
BASED ON MODIFIED AGM-9 AND OXIDIZED PAN-FLAGELLUM**

Н.Г. ЗУБОВА, В.М. ГЕРАСИМОВА, Т.П. УСТИНОВА

N.G. ZUBOVA, V.M. GERASIMOVA, T.P. USTINOVA

(Балаковский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ",
Энгельсский технологический институт – филиал Саратовского государственного
технического университета имени Ю.А. Гагарина)

(Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI,
Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov)

E-mail: Zubova_APTECH@mail; gerasimova.victoria@yandex.ru; ustinovatp@mail.ru

В работе исследовано влияние модифицированного органосилановым аппретом АГМ-9 технического полиакрилонитрильного жгутика, прошедшего окисление, на кинетику процесса отверждения эпоксидного связующего и свойства полученного композиционного материала. Применение модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-жгутика активно влияет на изменение кинетических параметров процесса отверждения эпоксидного связующего и обеспечивает формирование реактопластичной матрицы в более мягких условиях, что подтверждается данными дифференциально-сканирующей калориметрии. Доказано улучшение деформационно-прочностных свойств и хемостойкости эпоксидных композитов, армированных модифицированным АГМ-9 и окисленным полиакрилонитрильным жгутиком.

The effect of a modified organosilane AGM-9 technical polyacrylonitrile flagellum that has undergone oxidation on the kinetics of the curing process of the epoxy binder and the properties of the resulting composite material is investigated. The use of modified AGM-9 and oxidized PAN-flagellum actively influences the change in the kinetic parameters of the curing process of the epoxy binder and ensures the formation of a reactoplastic matrix under milder conditions, which is confirmed by the data of differential scanning calorimetry. The improvement of deformation and strength properties and chemical resistance of epoxy composites reinforced with modified AGM-9 and oxidized polyacrylonitrile flagella has been proved.

Ключевые слова: окисленный полиакрилонитрильный жгутик, органосилановый аппрет АГМ-9, эпоксидное связующее, процесс отверждения, композиционный материал, деформационно-прочностные свойства, хемостойкость.

Keywords: oxidized polyacrylonitrile flagellum, organosilane appret AGM-9, epoxy binder, curing process, composite material, deformation and strength properties, chemical resistance.

Одним из перспективных волокнистых материалов, обладающих поверхностной активностью, термической устойчивостью и хемостойкостью, является окисленное полиакрилонитрильное волокно (окси-ПАН), получаемое на стадии окисления исходного прекурсора в интервале температур 200...220°C в результате протекающих реакций циклизации и межмолекулярного сшивания, и применяемое для армирования композитов на основе реактопластов [1], [2].

Проведенные ранее исследования по оценке эффективности влияния органосилановых модификаторов на армирующие характеристики аппретированного полиакрилонитрильного технического жгутика (ПАН-ТЖ), а также на улучшение адгезионного взаимодействия в системе эпоксидное связующее/ПАН-ТЖ показали повышение технологических и эксплуатационных характеристик эпоксидных композитов на их основе [3...5]. В связи с этим в настоящей работе исследована возможность применения модифицированного 3-аминопропилтриэтоксисиланом (АГМ-9) и прошедшего окисление, полиакрилонитрильного технического жгутика в качестве армирующей системы при получении эпоксидных композиционных материалов.

В качестве объектов исследования использовали:

- окисленный технический полиакрилонитрильный жгут (относительная разрывная нагрузка элементарной нити 35 сН/текс и относительное разрывное удлинение элементарной нити 29 %);

- модифицированный 5%-ным раствором АГМ-9 в течение 60 с и затем окисленный технический полиакрилонитрильный жгут (относительная разрывная нагрузка элементарной нити 32 сН/текс, относительное разрывное удлинение элементарной нити 27 %).

Окисление жгутиков проводили в лабораторной термопечи, в среде воздуха, при скорости нагрева ~10°/мин от комнатной температуры до температуры 210°C с выдерживанием образцов волокнистых материалов при этой температуре в течение 1 ч. Композиционные материалы на основе

эпоксидной смолы ЭД-20, отверждаемой полиэтиленполиамином, при массовом соотношении смолы и отвердителя 10:1 и исследуемых полиакрилонитрильных волокнистых материалов при массовом соотношении связующего и наполнителя 1:1 получали методом компрессионного прессования при температуре 110±5°C и давлении 5±0,5 МПа.

Оценку влияния окисленных волокнистых материалов на процесс отверждения эпоксидного связующего проводили по изменению времени гелеобразования и отверждения, максимальной температуры отверждения и энергии активации (рис. 1 – кинетические кривые отверждения ЭД-20 в присутствии окисленного ПАН-жгутика: 1 - ЭД-20; 2 - ЭД-20+окси-ПАН; 3 - ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ и табл. 1 – параметры отверждения эпоксидных композитов в присутствии окисленного ПАН-жгутика).

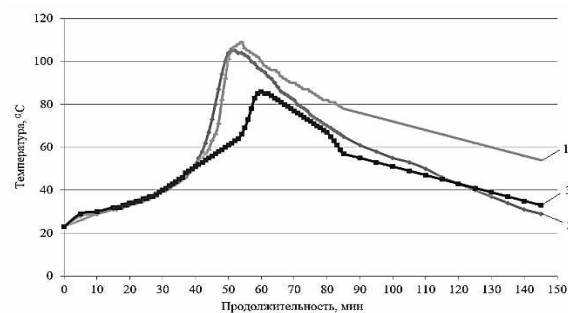


Рис. 1

Результаты исследования свидетельствуют, что введение модифицированного органосилановым аппретом и окисленного жгутика в эпоксидное связующее (рис. 1, кривая 3) сопровождается изменением кинетических параметров, а именно приводит к снижению максимальной температуры отверждения (до 86°C) и увеличению времени отверждения (до 60 мин) по сравнению с немодифицированным окси-ПАН (кривая 2), что свидетельствует о более "мягких" условиях формирования полимерной матрицы. Армирование модифицированного органосиланом и окисленного ПАН-жгутика обеспечивает снижение энергии активации процесса отверждения связующего (табл. 1).

Таблица 1

Состав материала	Время гелеобразования, мин	Время отверждения, мин	Максимальная температура отверждения, °С	Энергия активации, кДж/моль	Степень отверждения, %
ЭД-20	27	54	109	58	96
ЭД-20+окси-ПАН	27	51	105	60	99
ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ	28	60	86	54	99

Результаты дифференциально-сканирующей калориметрии, полученные при исследовании эпоксидного связующего в присутствии модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ (рис. 2 – данные ДСК материалов: 1 - ЭД-20; 2 - ЭД-20+окси-ПАН; 3 - ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ и табл. 2 – данные по влиянию окисленного ПАН-жгутика на величину теплового эффекта процесса отверждения композиций), также свидетельствуют о снижении макси-

мальной температуры процесса отверждения эпоксидной матрицы (на 15%), что коррелирует с данными по оценке кинетики процесса (рис. 1).

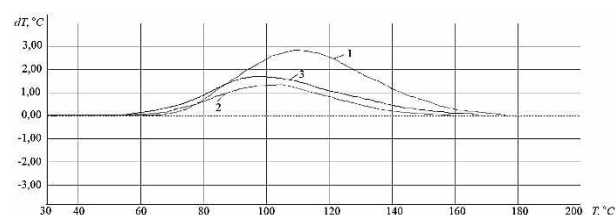


Рис. 2

Таблица 2

Состав отверждаемой композиции	Экзотермический процесс	
	$(T_n - T_k)/T_{max}, °C$	$\Delta H, Дж/г$
ЭД-20	(66-176)/110	559
ЭД-20+окси-ПАН-ТЖ	(55-160)/106	278
ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ	(54-167)/93	304

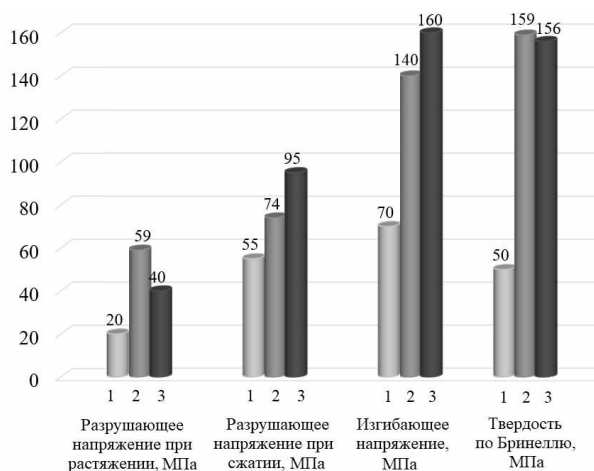


Рис. 3

В результате протекания процесса отверждения эпоксидных композиций в более мягких условиях и формирования менее напряженной структуры матрицы обеспечивается увеличение деформационно-прочностных свойств эпоксидных композиционных материалов (рис. 3 – данные деформационно-прочностных свойств разработанных

композиций: 1-ЭД-20; 2-ЭД-20+окси-ПАН; 3-ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ).

Следует отметить, что эпоксидные композиты на основе окси-ПАН и модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ отличаются от ненаполненной матрицы увеличением значений разрушающего напряжения при растяжении в 2...3 раза и при сжатии - в 1,2...1,7 раз, изгибающего напряжения - в 2...2,3 раза, твердости по Бринеллю - в 2,4...3,2 раза.

Для обоснованного выбора областей применения эпоксидного композита на основе окси-ПАН и модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ и с учетом возможности их применения в качестве облицовочных покрытий при футеровке оборудования для кислотных ванн, используемых на производстве волоконных материалов, исследовалась химическая стойкость разработанных композитов.

В качестве агрессивной среды была

выбрана ванна следующего состава: серная кислота (концентрация 130...150 г/л), сульфат натрия (концентрация 260...320 г/л), сульфат цинка (концентрация 12...20 г/л). Оценку химической стойкости исследуемых образцов проводили по изменению их массы в условиях экспонирования в агрессивной среде (рис. 4 – изменение массы образцов композиционных материалов в среде кислотной ванны: 1-ЭД-20; 2-ЭД-20+окси-ПАН; 3-ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ и табл. 3 – параметры, характеризующие химическую стойкость композиционных материалов в среде кислотной ванны).

Результаты исследования хемостойкости армированных пластиков свидетельствуют о снижении (на порядок) коэффициента проницаемости компонентов кислотной ванны у эпоксидных композитов на основе модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ.

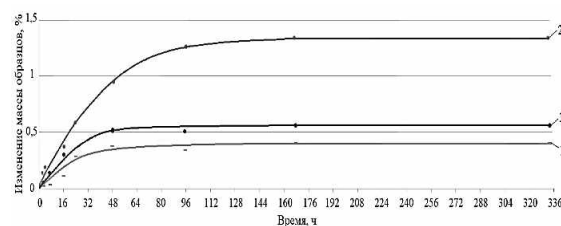


Рис. 4

Т а б л и ц а 3

Наименование наполнителя	Коэффициент диффузии, см ² /с	Коэффициент сорбции, г/см ³	Коэффициент проницаемости, г·см/см ² ·с
ЭД-20 ненаполненная	0,7·10 ⁻⁷	0,6·10 ⁻²	0,4·10 ⁻⁹
ЭД-20+окси-ПАН	0,4·10 ⁻⁷	0,1·10 ⁻¹	0,4·10 ⁻⁹
ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ	0,6·10 ⁻⁷	0,2·10 ⁻³	0,1·10 ⁻¹⁰

ВЫВОДЫ

Таким образом, армирование эпоксидного связующего модифицированным АГМ-9 и окисленным техническим полиакрилонитрильным жгутиком обеспечивает повышение адгезионной совместимости в системе матрица/наполнитель, что подтверждается повышением таких деформационно-прочностных свойств композита, как разрушающее напряжение при сжатии и изгибающее напряжение, а также увеличением стойкости композиционных материалов на его основе к действию агрессивной среды, свидетельствующей о монолитности разработанного эпоксикомпозита.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Perepelkin K.E.* Oxidized (Cyclized) Polyacrylonitrile Fibres - Oxyupan. A Review / K.E. Perepelkin // *Fibre Chemistry*. – 2003. Vol. 35, № 6. P. 409...416. <https://doi.org/10.1023/B:FICH.0000020769.42823.31>
2. *Serkov A.A., Radishevskii M.B., Panichkina O.N., Serkov A.T.* Tempering of acrylic twists in oxidative thermal stabilization // *Fibre Chemistry*. – 2000. Vol. 32. P. 12...20. <https://doi.org/10.1007/BF02359195>

3. *Корчина Л.В., Зубова Н.Г., Устинова Т.П.* Структурные особенности и свойства эпоксипластов на основе модифицированного ПАН-ТЖ // *Пластические массы*. – 2014, № 3-4. С.8...10.

4. *Корчина Л.В., Зубова Н.Г., Попова Н.Е., Устинова Т.П.* Оценка влияния полиакрилонитрильных волокон, модифицированных аппретами различной химической природы, на кинетику отверждения и свойства эпоксидного композита на их основе // *Химические волокна*. – 2014, № 6. С.28...30.

5. *Zubova N.G., Gerasimova V.M., Levkina N.L., Ustinova T.P.* Evaluation of the Properties and Structural Characteristics of Organosilane-Modified Chemical Fibers and Polymer Composites Based on Them // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2021. Vol.94, №5.P.656...665. <https://doi.org/10.1134/S1070427221050141>.

REFERENCES

1. *Perepelkin K.E.* Oxidized (Cyclized) Polyacrylonitrile Fibres - Oxyupan. A Review / K.E. Perepelkin // *Fiber Chemistry*. - 2003. Vol. 35, № 6. P. 409 ... 416. <https://doi.org/10.1023/B:FICH.0000020769.42823.31>
2. *Serkov A.A., Radishevskii M.B., Panichkina O.N., Serkov A.T.* Tempering of acrylic twists in oxidative thermal stabilization // *Fiber Chemistry*. – 2000. Vol.32. P.12...20. <https://doi.org/10.1007/BF02359195>
3. *Korchina L.V., Zubova N.G., Ustinova T.P.* Structural features and properties of epoxy plastics based on modified PAN-TG // *Plastic masses*. – 2014, № 3-4. P.8...10.

4. Korchina L.V., Zubova N.G., Popova N.E., Ustinova T.P. Evaluation of the effect of polyacrylonitrile fibers modified with coupling agents of various chemical nature on the curing kinetics and properties of an epoxy composite based on them // Chemical fibers. – 2014, № 6. P.28...30.

5. Zubova N.G., Gerasimova V.M., Levkina N.L., Ustinova T.P. Evaluation of the Properties and Structural Characteristics of Organosilane-Modified Chemical Fibers and Polymer Composites Based on Them // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2021. Vol.94, №5. P.656...665. <https://doi.org/10.1134/S1070427221050141>.

Рекомендована кафедрой . Поступила 01.08.22.

УДК 691.175

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_223

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО КЛАССА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ*

STUDY OF A NEW CLASS OF COMPOSITE FIBROUS MATERIALS BASED ON BIOPOLYMERS FOR REGENERATIVE MEDICINE

П.М. ТЮБАЕВА, А. К. ЗЫКОВА

P.M. TYUBAEVA, A.K. ZYKOVA

(Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Российский Квантовый Центр)

(Institute of Biochemical Physics named after N.M. Emanuel of Russian Academy of Sciences, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Russian Quantum Center)

E-mail: polina-tyubaeva@yandex.ru

Создание современных нанокomпозиционных волоконных материалов с ценными функциональными свойствами на основе биоразлагаемых полимеров и модифицирующих добавок позволяет не только решить экологические проблемы и снизить загрязнение окружающей среды, но и предложить новые подходы к созданию инновационных материалов для регенеративной медицины. Целью настоящей научно-исследовательской работы является исследование характера биоразложения нового класса композиционных волоконистых материалов на основе биополимеров и модифицирующих добавок для регенеративной медицины. В работе предложен подход к модификации структуры и свойств композиционных материалов на основе ПГБ, полученных методом электроформования, за счет использования молекулярных комплексов гемина. Строение новых материалов исследовано такими методами, как оптическая и сканирующая электронная микроскопия, метод электронного парамагнитного резонанса, дифференциальная сканирующая калориметрия. В ходе работы было установлено, что введение 1...5% мас. гемина оказывает существенное влияние на надмолекулярную структуру,

* Работа выполнена при поддержке Гранта Президента МК-1651.2022.1.3.

морфологию и свойства волокон на основе ПГБ. Рост концентрации гемина приводит к уменьшению доли кристаллической фазы на 8...10%, что соответствует уменьшению плотности аморфной фазы на 15...70% соответственно. Добавление гемина приводит к улучшению прочностных характеристик материала: относительное удлинение при разрыве увеличивается в 1,5 раза, а предел прочности при растяжении увеличивается в 3 раза. Подтверждена антимикробная активность геминсодержащих композиционных материалов в отношении E. coli и S. Aureus.

The creation of modern nanocomposite fiber materials with valuable functional properties based on biodegradable polymers and modifying additives allows not only solving environmental problems and reducing environmental pollution, but also offering new approaches to the creation of innovative materials for regenerative medicine. The purpose of this research work is to study the nature of the biodegradation of a new class of composite fibrous materials based on biopolymers and modifying additives for regenerative medicine. The paper proposes an approach to modifying the structure and properties of PHB-based composite materials obtained by electrospinning through the use of hemin molecular complexes. The structure of new materials has been studied by such methods as optical and scanning electron microscopy, electron paramagnetic resonance, and differential scanning calorimetry. During the work it was found that the introduction of 1-5% wt. hemina has a significant effect on the supramolecular structure, morphology, and properties of PHB-based fibers. An increase in hemin concentration leads to a decrease in the proportion of the crystalline phase by 8–10%, which corresponds to a decrease in the density of the amorphous phase by 15–70%, respectively. The addition of hemin leads to an improvement in the strength characteristics of the material: the elongation at break increases by 1.5 times, and the tensile strength increases by 3 times. The antimicrobial activity of hemin-containing composite materials against E. coli and S. Aureus was confirmed.

Ключевые слова: электроформование, ультратонкие и нановолокна, биокomпозиты, антисептические свойства, гемин, поли(-3-гидроксибутират).

Keywords: electrospinning, ultrathin and nanofibers, biocomposites, antiseptic properties, hemin, poly(-3-hydroxybutyrate).

Введение

В последние годы композиционные полимерные материалы, модифицированные металлокомплексами порфиринов, находят широкое применение в различных областях прикладных исследований: электропроводящие волокна [1...3], волоконно-оптические сенсоры [4], [5], материалы для фотоники [6], [7], генная терапия [8], [9], биомедицина [10...12]. Создание таких композитов с управляемыми функциональными свойствами является актуальным научным направлением [13...15]. Одной из причин динамичного роста интереса к металлоком-

плексам тетрапиррольных макроциклов являются достижения в области химического синтеза и химии тетрапирролов, позволяющие получать многочисленные аналоги природных систем (порфирины, тексафирины, хлорины, корролы) и др.) для медико-биологических целей [16...20].

Таким образом, различные порфириновые комплексы природного и синтетического происхождения могут быть использованы для модификации полимерных композиционных систем для достижения уникального сочетания особых функциональных свойств и биомедицинских характерис-

тик. Материалы на полимерной основе широко разрабатываются для создания таких композитов на основе полимерной матрицы и порфиринового комплекса [21...23].

Одним из наиболее эффективных способов создания таких материалов является электроформование [24]. Такой способ формирования ультратонких волокон путем вытягивания струи раствора полимера под действием физических сил позволяет обеспечить контролируемое равномерное введение в полимерную матрицу добавок различной природы. В мире уже достигнуты успехи во введении различных порфириновых комплексов в структуру нановолокон, а также в управлении положением молекулы тетрапиррола [25...29].

Поли(-3-гидроксibuтират) (ПГБ) является перспективным полимером для терапевтических применений. ПГБ характеризуется высокой температурой плавления, высокой степенью кристалличности и низкой проницаемостью для кислорода, воды и углекислого газа [30]. Этот биополимер, полученный из возобновляемых источников, деградирует, как только попадает в биологически активную среду [31] и биосовместим с организмом человека [32]. Существует большое количество биомедицинских композитов на основе ПГБ с полиэтиленгликолем [33], полилактидом [34], поликапролактоном [35], хитозаном [36], эластомерами [37].

Особый интерес представляют комбинации ПГБ с небольшими концентрациями модифицирующих добавок различной природы. Среди компонентов полимерного композита могут быть использованы наночастицы [38], углеродные нанотрубки [39], катализаторы и ферменты [40]. Возможны также такие виды модификации, как модификация поверхности, наноструктурирование волокнистых слоев [41], инкапсуляция биоактивных молекул [42].

В данной работе рассмотрено применение тетрапиррольного комплекса природного происхождения – гемина в качестве модифицирующей добавки материала на основе ПГБ. Благодаря своим свойствам гемин может быть использован в различных биомедицинских материалах в качестве ос-

новы для связывания белков с полимером [43], для молекул-контейнеров (таких как кавитанды и капсулы), для систем адресной доставки [44], для конструирования новых биокатализаторов, адаптированных к специфическим функциям [45], для создания инновационных антикоагулянтов [46] и др. Одним из наиболее перспективных направлений для этих материалов является ранозаживляющая повязка: биополимер-гемин-белок, обеспечивающая регенерацию.

Безусловные достоинства гемина выражаются не только в его природном происхождении и биосовместимости с живым организмом [47]. Он обладает термической стабильностью, что подходит для различных условий обработки композитов на основе гемина [48]. Гемин также известен как комплекс с некоторой антимикробной активностью в отношении *S. aureus* [49]. Имеется большое количество работ, в которых показана эффективность гемина как элемента связывания пептидов, используемых в медицинских целях [50], [51]. Низкая стоимость экстракции и очистки гемина делает его еще более привлекательным для исследовательских целей и дальнейшего промышленного использования [52].

Основной целью этой исследовательской работы было изучение влияния гемина на структуру и свойства композиционных материалов на основе ПГБ. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии молекулярного комплекса на различные свойства полимера, особенно на надмолекулярную структуру.

Влияние гемина на структуру и свойства композиционных материалов на основе ПГБ, полученных методом электроформования

Для получения образцов композиционных материалов использовали полукристаллический биоразлагаемый полимер поли(-3-гидроксibuтират) серии 16F (BIOMER®, Германия) с молекулярной массой 206 кДа, плотностью 1,248 г/см³ и степенью кристалличности 59% (рис. 1-а). В качестве модифицирующей добавки был выбран тетрапиррольный комплекс из класса порфиринов природного происхождения – гемин. Гемин – это координацион-

ный комплекс железа (степень окисления: III) (рис. 1-б), полученный экстракционным методом (Россия).

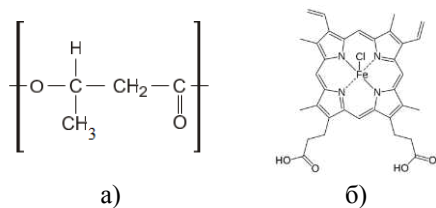


Рис. 1

В работе полимерные нановолокнистые материалы были получены методом электроформования (ЭФ) на однокапиллярной лабораторной установке с диаметром капилляра 0,1 мм. Материалы системы ПГБ-гемин получали методом двухрастворного электроформования [54], [55]. Мелкодисперсный порошок ПГБ растворяли в хлороформе при температуре 60 °С для приготовления формообразующих растворов. Гемин растворяли в N,N-диметилформамиде при температуре 25 °С и гомогенизировали с раствором ПГБ. Содержание ПГБ в растворе составило 7% масс., содержание гемина – 1, 3 и 5% масс. ПГБ соответственно. Напряжение в процессе ЭФ составляло 17–20 кВ, расстояние между электродами 190–200 мм, давление в системе 10...15 кг/см². Электропроводность формовочного раствора составляла 10...14 мкСм/см, вязкость раствора гемин-ПГБ 1,4...1,9 Па·с (вязкость 7% ПГБ в хлороформе 1 Па·с).

Суть процесса электроформования обеспечивает отверждение волокон полимерной матрицы после полного испарения растворителя [60]. В целом структуру волокнистого материала, полученного методом ЭФ, следует охарактеризовать как хаотичную [61]. Длинные ультратонкие волокна под действием комплекса физических сил отверждаются и укладываются, занимая определенное положение в слое материала. Эту структуру следует охарактеризовать как высокоразвитую с точки зрения очень большой площади поверхности [62]. Варьирование условий ЭФ, а также рецептуры формовочного раствора позволяют влиять на структурные особенности получаемого материала и даже с высокой

точностью прогнозировать морфологию отдельных волокон. Ключевыми характеристиками для полного описания морфологии являются: плотность, характеризующая емкость полимерного композиционного материала; средний диаметр волокон; теоретическая пористость, выражающая в процентах долю свободного от волокон объема материала, а также размер пор.

Микрофотографии полученного материала на основе ПГБ с различным содержанием гемина представлены на рис. 2 (микрофотографии образцов нетканых материалов на основе ПГБ с различным содержанием гемина: 1% масс. (а), 3% масс. (б) и 5% масс. (в)).

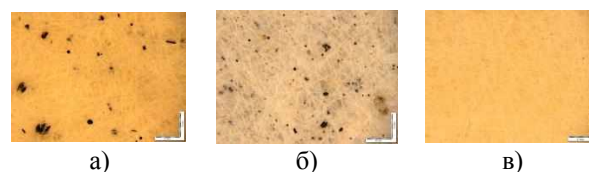


Рис. 2

Важно отметить, что на микрофотографиях, полученных методом оптической микроскопии, отчетливо видно, что волокна с 1% масс. и 3% масс. (рис. 2-а,б) гемина имеют черные включения на поверхности волокон со средними размерами 4...32 мкм при 1% мас. и 0,7...17 мкм при 3% масс. соответственно. В случае 5% масс. гемина (рис. 2-в) включения практически отсутствуют (1...4 мкм).

Важно подчеркнуть, что введение гемина в раствор ПГБ оказало существенное влияние на его формообразующие свойства. Даже небольшие концентрации гемина (1...5% масс.) вносили значительный вклад в электропроводность раствора, повышая ее за счет атома железа в молекулах порфирина. В результате более высокой электропроводности струя в процессе ЭФ двигалась более упорядоченно. В результате волокна хорошо отверждались, размер пор уменьшался, а пористость материала увеличивалась. То есть при меньшей плотности материал характеризуется большим процентом воздушной прослойки между хорошо отвержденными волокнами без полусклеивания и утолщений по мере уве-

личения концентрации гемина. Характеристики нетканых материалов представлены в табл. 1 (средние значения характеристик

нетканых материалов на основе ПГБ с различным содержанием гемина).

Т а б л и ц а 1

Вид материала	Плотность, г/см ³ $\Delta \pm 0.01$ г/см ³	Средний диаметр волокна, мкм $\Delta \pm 0.04$ мкм	Размер пор, мкм	Пористость, % $\Delta \pm 2\%$
ПГБ с 0% масс. гемина	0,30	3,50	15±10	80
ПГБ с 1% масс. гемина	0,20	2,06	109±10	92
ПГБ с 3% масс. гемина	0,20	1,77	83±10	92
ПГБ с 5% масс. гемина	0,17	1,77	52±10	94

Метод СЭМ использовался для более детального изучения морфологии волокнистых материалов. Микрофотографии наиболее интересных участков материала на основе ПГБ с разным содержанием гемина представлены на рис. 3 (микрофотографии ПГБ с различным содержанием гемина: 0% масс. (а), 1% масс. (б), 3% масс. (в) и 5% масс. (г), полученные методом СЭМ).

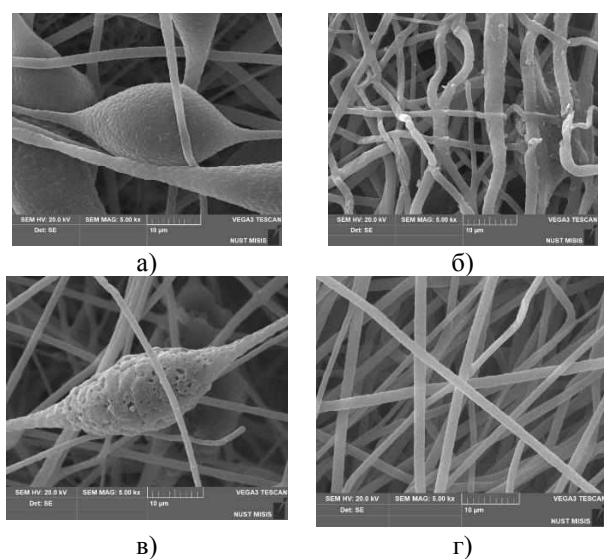


Рис. 3

Видно, что текстура поверхности немодифицированных волокон (рис. 3-а) и с низким содержанием гемина (менее 3% масс.) неоднородна. Волокна характеризуются большей степенью извитости, спаек и наличием крупных образований в виде эллиптических утолщений при низком содержании добавки (0...3% масс.). Средний размер этих структур составлял 20...30 мкм в продольном направлении и 15...25 мкм в поперечном направлении. Увеличение содержа-

ния гемина приводит к уменьшению диаметра и повышению однородности волокон. Микрорельеф и структура пор изменяются при введении даже 1% масс. добавки (рис. 3-а,б). Дефекты в виде склеек и утолщений встречаются крайне редко, волокна истончаются, количество дефектов уменьшается, а при введении 5% масс. гемина дефекты в виде утолщений почти полностью отсутствуют. Шероховатости на поверхности волокон практически полностью исчезает при 5% масс. добавки, как и веретенообразные утолщения.

Оптические микрофотографии показали наличие включений на поверхности волокон (рис. 2-а,б). С помощью метода энергодисперсионного рентгеноспектрального элементного анализа (ЭРС) была определена равномерность распределения гемина в матрице ПГБ. Результаты анализа показали, что гемин в исследованной области концентраций достаточно равномерно распределяется в материале, а не концентрируется только во включениях на поверхности. Атомы железа и хлора были выбраны в качестве атомов, идентифицирующих гемин, поскольку они входят в центральную часть тетрапиррольного кольца. Результаты представлены на рис. 4. Результаты для железа и хлора оказались идентичными, поэтому данная статья дана только для железа (оранжевый цвет на рис. 4- б,в,г).

Рис. 4 – энергодисперсионный рентгеноспектральный элементный анализ Fe в составе ПГБ с различным содержанием гемина: 0% масс. (а), 1% масс. (б), 3% мас. (в) и 5% масс. (г).

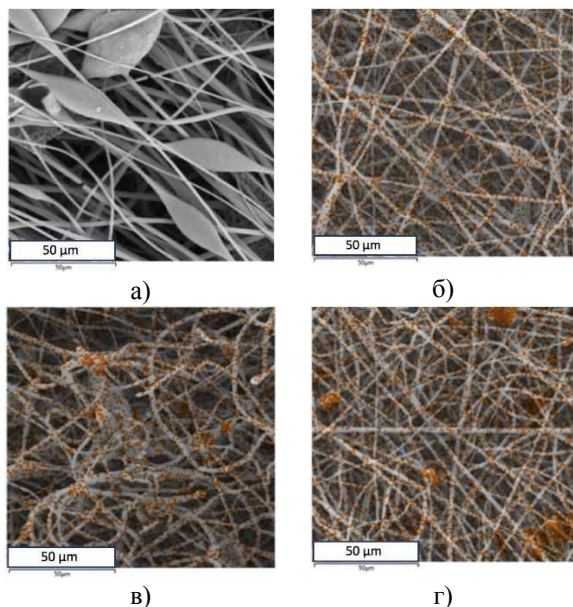


Рис. 4

ПГБ представляет собой полукристаллический полимер, кристаллиты которого склонны укладываться в ламели [63]. При достаточном времени и оптимальных условиях повторной холодной кристаллизации возможно образование регулярных кристаллических структур, в том числе сферолитов ПГБ [64]. Влияние способов получения на формирование кристаллической структуры ПГБ велико, поэтому в процесс формирования надмолекулярной структуры вносятся граничные условия. Таким образом, метод ЭФ способствует формированию вытянутых ориентированных макромолекул [65], которые можно назвать фибриллами [64].

Более ранние исследования структуры кристаллитов в фибриллах ПГБ рентгеноструктурным методом [66] показали, что большой период составил 61 мкм, продольный размер кристаллита 270 мкм, поперечный размер кристаллита 370 мкм с точностью определения ± 2 мкм. Степень кристалличности при больших углах рентгеновской дифракции составила 53%, а при малых углах – 60% с точностью определения $\pm 5\%$. Эти результаты хорошо согласовывались с известными процессами, происходящими при кристаллизации макромолекулярной структуры ПГБ [67], [68]. В целом надмолекулярную организацию электроформованного ПГБ можно представить

так, как показано на рис. 5 (организация макромолекул ПГБ: 1 – кристаллические области; 2 – регулярная цепная складка; 3 – неравномерная цепная складка (свободная петля); 4 – сквозные молекулы; 5 – самые короткие, удлиненные и напряженные сквозные молекулы; 6 – межфибриллярные проходные цепи; 7 – межфибриллярные структуры).

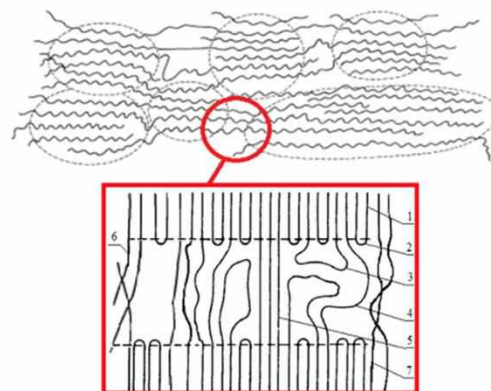


Рис. 5

Таким образом, ПГБ, использованный в данной работе, должен характеризоваться следующими параметрами: аморфная фаза в структуре материала составляла 35...40%; кристаллическая фаза составляла 60...65%, в том числе организованные кристаллиты – 35% [25].

В данном исследовании под степенью кристалличности понимается общая доля кристаллической фазы в полукристаллическом полимере, включающая как хорошо закристаллизованные кристаллиты, так и незакристаллизованные, дефектные и паракристаллические образования. На рис. 6 показано изменение степени кристалличности (а) и температуры плавления (б) ПГБ в зависимости от концентрации гемина.

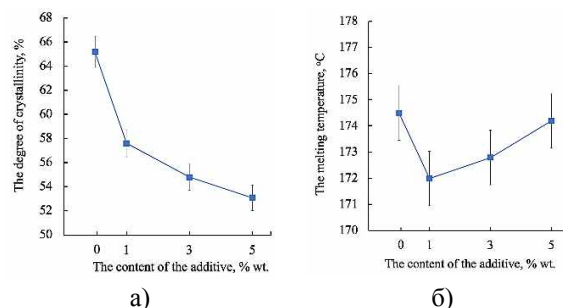


Рис. 6

Увеличение концентрации добавки снижает долю кристаллической фазы в пределах 10 % (рис. 6-а), что свидетельствует о существенном влиянии гемина на кристаллизацию полимера в период отверждения. В то же время (рис. 6-б) температура плавления увеличивается с увеличением концентрации гемина. Хотя разница в температурах плавления невелика (2 °С), она все же может быть маркером процессов, происходящих на стадии кристаллизации. Интересно, что при 1% масс. гемина температура плавления снижается, после чего начинается ее плавный рост. В целом эта зависимость хорошо согласуется с динамикой изменения морфологии поверхности волокна: при добавлении 1% масс. (рис. 3-б) и 3% масс. (рис. 3-в). При этом поверхность волокон была шероховатая, имела впадины, каверны и поры, которых становится значительно меньше при введении 5% масс. добавки.

Большой интерес представляет изменение формы пика плавления ПГБ при различном количестве гемина.

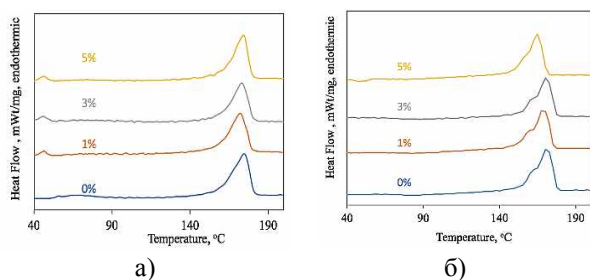


Рис. 7

На рис. 7 показаны пики плавления ПГБ с разным содержанием гемина: первый нагрев (а), второй нагрев (б).

При первом нагреве (рис. 7-а) видно, что с увеличением концентрации гемина пик становится более симметричным, кристалличность снижается равномерно в пределах 12%. На первой стадии процесса плавления менее организованные кристаллиты и паракристаллические структуры плавятся быстрее. Известно, что эти структуры образуются, если ПГБ не имеет достаточных возможностей для медленной кристаллизации [69]. Введение гемина в раствор влияет на ход кристаллизации. Возможно, гемин выс-

тупает в качестве зародышеобразователя кристаллизации. Структуры ПГБ становятся более однородными и организованными, хотя общее количество кристаллических структур уменьшается. Этот эффект особенно хорошо виден при втором нагреве (рис. 7-б). Показано, что низкотемпературное плечо от 150 до 160 °С свидетельствует о плавлении большого количества неправильных кристаллических образований. С увеличением концентрации гемина их количество уменьшается. То есть скорость кристаллизации уже не способствует организации кристаллической фазы ПГБ.

Метод ЭПР позволяет оценить состояние аморфной фазы. Результаты ЭПР хорошо согласуются с результатами ДСК. Время корреляции зонда указывает на структуру аморфной фазы. На рис. 8-а представлены результаты анализа подвижности спинового зонда ТЕМПО в зависимости от концентрации гемина. Концентрация спинового зонда по отношению к массе образца материала (рис. 8-б) показывает, что гемин не препятствует проникновению радикала в материал, что подтверждает теорию об изменении структуры аморфной фазы. То есть радикала поступает больше, а его подвижность становится меньше. Это, безусловно, связано с локализацией тетрапиррольного кольца в аморфной фазе.

На рис. 8 представлена зависимость характеристик аморфной фазы ПГБ от концентрации гемина: времена корреляции спинового зонда (а), концентрация спинового зонда по отношению к массе образца материала (б).

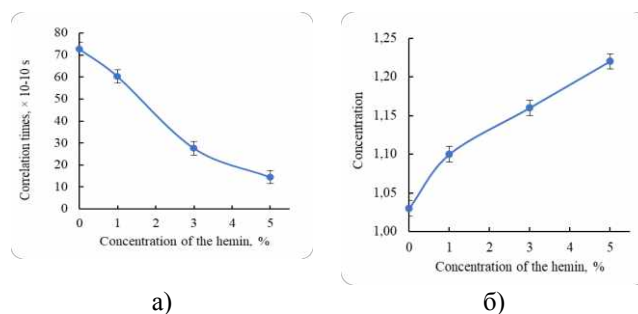


Рис. 8

Все эти изменения существенно повлияли на физико-механические характери-

стики, морфологию композитов и их эксплуатационные свойства. Локализация порфириновых комплексов сосредоточена в аморфной фазе материала.

Физико-механические свойства композиционных материалов являются важным классом эксплуатационных свойств, но они также в значительной степени являются ин-

дикатором состояния молекулярной системы полимер-добавка. За счет изменения надмолекулярной структуры и морфологии происходит изменение физико-механических свойств. Результаты физико-механических испытаний образцов с различным содержанием гемина представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Вид материала	Прочность при разрыве, МПа $\Delta \pm 0,02$ МПа	Относительное удлинение, % $\Delta \pm 0,2$ %
ПГБ с 0% масс. гемина	1,7	3,6
ПГБ с 1% масс. гемина	0,7	4,7
ПГБ с 3% масс. гемина	1,9	4,7
ПГБ с 5% масс. гемина	5,5	6,1

Важно отметить, что при 5 % масс. гемина в материале повышается прочность при разрыве до 5,5 МПа, что в 3 раза превышает прочность хрупких нетканых материалов на основе ПГБ без добавок. Относительное удлинение при разрыве увеличивается до 6 %, что в 1,5 раза выше, чем у исходного ПГБ. Однако при более низких концентрациях гемина столь высокий показатель не может быть достигнут.

Как обсуждалось ранее, антимикробная активность гемина известна из литературы, хотя и отмечается ее кратковременный эффект [49].

Биологические тесты позволили проверить эффективность гемина в отношении грамположительных и грамотрицательных культур. Результаты тестов биологического анализа представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Тест-культуры	Исходная тест-культура, КОЕ/мл	Количество колоний вместе с образцом материала, КОЕ/мл	Контроль КОЕ/мл
ПГБ с 1 % масс. гемина			
<i>S. aureus</i> p 209	$2,0 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i> 1257	$2,0 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2,0 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$
ПГБ с 3 % масс. гемина			
<i>S. aureus</i> p 209	$2,1 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i> 1257	$2,0 \cdot 10^4$	$< 1 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$
ПГБ с 5 % масс. гемина			
<i>S. aureus</i> p 209	$2,0 \cdot 10^4$	$0,9 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i> 1257	$2,0 \cdot 10^4$	$< 1 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$

Антибактериальные свойства гемина связаны в первую очередь с его действием на клеточные стенки микроорганизмов путем изменения заряда бактериальной клетки. Как следствие, молекулы порфирина могут подавлять функцию адгезии и колонизации патогенов. По-видимому, комплексы металлов способны нарушать ионный баланс живой клетки. В частности, этот эффект усиливается в наноразмерных волокнистых материалах. Кроме того, комп-

лексы, содержащие металлы переменной валентности, например железо, стимулируют образование активных форм кислорода в водных средах, что в свою очередь также негативно влияет на жизнеспособность патогенных микроорганизмов.

В Ы В О Д Ы

В работе исследовано влияние молекулярных комплексов гемина на структуру и

свойства композиционных материалов на основе ПГБ. Показана возможность оптимизации методов получения волокон с более высокими характеристиками, в том числе механическими свойствами и антибактериальной активностью. Введение 1...5% масс. гемина оказывает влияние на надмолекулярную структуру, морфологию и свойства волокон на основе ПГБ за счет процессов кристаллизации, происходящих на стадии формирования и отверждения волокна. Атом металла (трехвалентного железа), содержащийся в тетрапиррольном кольце гемина, позволяет получить оптимальный баланс электропроводности и вязкости для формирования бездефектных однородных упрочненных волокон при концентрациях выше 3% масс. гемина. При достижении концентрации гемина 5% масс. практически полностью исчезают дефекты и поры, так как возникает необходимый и достаточный баланс формообразующих свойств раствора. При этом степень кристалличности ПГБ снижается на 10 %, что соответствует уменьшению плотности аморфной фазы в 3,5 раза, образование более организованных кристаллических структур происходит даже при быстром охлаждении. Добавление 5% масс. гемина приводит к увеличению относительного удлинения при разрыве в 1,5 раза и прочности при растяжении в 3 раза. При этом существенно изменяется морфология поверхности волокна, исчезают дефекты на поверхности и в межволоконном пространстве. Это наблюдение служит основой для модификации и направленного дизайна надмолекулярной структуры полукристаллических полимеров и свойств волокнистого материала. Полученные результаты могут служить основой для модификации и направленного дизайна полимерного материала для регенеративной медицины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lund A., Velden N. M., Persson N.K., Hamedi M.M., Müller C. Electrically conducting fibres for e-textiles: An open play-ground for conjugated polymers and carbon nanomaterials. // *Mater. Sci. Eng. R Rep.* – №126, 2018. P. 1...29. .
2. Bailey F., Malinski T., Kiechle F. Carbon-fiber ultramicroelectrodes modified with conductive polymeric tetrakis(3-methoxy-4-hydroxyphenyl) porphyrin for determination of nickel in single biological cells // *Anal. Chem.* – №63 (4), 1991. P. 395...398.
3. Avossa J., Paolesse R., Di Natale C., Zampetti E., Bertoni G., De Cesare, F. Macagnano, A. Electrospinning of polystyrene/polyhydroxybutyrate nanofibers doped with porphyrin and graphene for chemiresistor gas sensors. // *Nanomaterials.* – № 9(2), 2019. P. 280.
4. Tabassum R., Kant R. Recent trends in surface plasmon resonance based fiber-optic gas sensors utilizing metal oxides and carbon nanomaterials as functional entities. // *Sens. Actuators B Chem.* – №310, 2020. 127813.
5. Scheicher S.R., Kainz B., Köstler S., Suppan M., Bizzarri A., Pum D., Ribitsch V. Optical oxygen sensors based on Pt(II) porphyrin dye immobilized on S-layer protein matrices. // *Biosens. Bioelectron.* – № 25(4), 2009. P. 797...802.
6. Laskowska M., Kityk L., Pastukh O., Dulski M., Zubko M., Jedryka J., Laskowski E. Nanocomposite for photonics - nickel pyrophosphate nanocrystals synthesised in silica nanoreactors. // *Microporous Mesoporous Materials* – №306, 2021. 110435.
7. Biswas S., Ahn H.Y., Bondar M.V., Belfield K.D. Two-photon absorption enhancement of polymer-templated porphyrin-based J-aggregates. // *Langmuir.* – №28(2), 2011. P. 1515...1522.
8. Chen Z., Mai B., Tan H., Chen X. Nucleic acid based nanocomposites and their applications in biomedicine // *Composites Communications.* – № 10, 2018. P.194...204/
9. Suo Z., Chen J., Hou X., Hu Z., Xing F., Feng L. Growing prospects of DNA nanomaterials in novel biomedical applications. // *RSC Adv.* – № 9 (29), 2019. P.16479...16491.
10. Ghosal K., Agatemo, C., Špitálský Z., Thomas Z., Kny E. Electrospinning tissue engineering and wound dressing scaffolds from polymer-titanium dioxide nanocomposites. // *Chem. Eng. J.* – № 358, 2019. P.1262...1278.
11. Wu J., Li S., Wei H. Integrated nanozymes: facile preparation and biomedical applications. *ChemComm.* – №54 (50), 2018. P. 6520...6530.
12. Ruthard C., Schmidt M., Gröhn F. Porphyrin-polymer networks, worms, and nanorods: pH-triggerable hierarchical self-assembly. // *Macromol Rapid Commun.* – № 32(9-10), 2011. P. 706...711.
13. Almaguer-Flores A., Silva-Bermúdez P., Rodi S. E. Nanostructured Biomaterials for Regenerative Medicine. In *Nanostructured Biomaterials for Regenerative Medicine* // Woodhead Publishing: Cambridge, England. – 2020. P. 81...137.
14. Chifiriuc M.C., Ficaí A., Grumezescu A.M., Ditu L.M., Popa M., Iordache C., Lazar V. Soft tissue engineering and microbial infections: Challenges and perspectives. *Nanobiomaterials Soft Tissue Eng. Appl.* // *Nanobiomaterials.* – 2016. P. 1...29.
15. Xue J., Wu T., Dai Y., Xia Y. Electrospinning and electrospun nanofibers: methods, materials, and applications. // *Chem. Rev.* –119 (8), 2019. P. 5298...5415.

16. *Sessler J.L., Tomat E.* Transition-metal complexes of expanded porphyrins. // *Acc. Chem. Res.* – №40(5), 2007. P. 371...379.
17. *Sessler J.L., Miller R.A.* Texaphyrins. // *Biochem. Pharmacol.* – № 59(7), 2000. P. 733...739.
18. *Tsolekile N., Nelana S., Oluwafemi O.S.* Porphyrin as diagnostic and therapeutic agent. // *Molecules.* – 24(14), 2019. P. 2669.
19. *Habermeyer B., Guillard R.* Some activities of PorphyChem illustrated by the applications of porphyrinoids in PDT, PIT and PDI. // *Photochem. Photobiol. Sci.* – № 17(11), 2018. P. 1675...1690.
20. *Zhang L., Yang R., Yu H., Xu Z., Kang Y., Cui H., Xue P.* MnO₂-capped silk fibroin (SF) nanoparticles with chlorin e6 (Ce6) encapsulation for augmented photo-driven therapy by modulating the tumor microenvironment. // *J Mater Chem B.* – 9(17), 2021. P.3677...3688.
21. *Sanhueza C., Hermosilla J., Bugallo-Casal A., Da Silva-Candal A., Taboada C., Millán R., Acevedo F.* One-step electrospun scaffold of dual-sized gelatin/poly-3-hydroxybutyrate nano/microfibers for skin regeneration in diabetic wound. // *Mater. Sci. Eng. C.* – № 111602, 2020.
22. *Synytsy, A., Grafová M., Slepicka P., Gedeon O., Synytsya A.* Modification of chitosane–methylcellulose composite films with meso-tetrakis(4-sulfonatophenyl)porphyrin. *Biomacromolecules* – 2011, 13(2), 489...498.
23. *Zhao L., Qu R., Li A., Ma R., Shi L.* Cooperative self-assembly of porphyrins with polymers possessing bioactive functions. *ChemComm.* – 2016, 52(93), 1354313555.
24. *Seema A, Wendorff J.H., Greiner A.* Use of electrospinning technique for biomedical applications. *Polymer.* – 2008, 49 (26), 5603...5621.
25. *Ol'khov A.A., Tyubaeva P.M., Zernova Yu.N., Kurnosov A.S., Karpova S.G., Iordanskii A.L.* Structure and properties of biopolymeric fibrous materials based on polyhydroxybutyrate–metalloporphyrin complexes // *Russ. J. Gen. Chem.* – 2021, 91 (3). 546...553.
26. *Arai T., Tanaka M., Kawakami H.* Porphyrin-containing electrospun nanofibers: positional control of porphyrin molecules in nanofibers and their catalytic application. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2012, 4(10), 5453...5457.
27. *Gangemi C.M.A., Iudici M., Spitaleri L., Randazzo R., Gaeta M., D'Urso A., Fragalà M.E.* Polyethersulfone mats functionalized with porphyrin for removal of para-nitroaniline from aqueous solution. *Molecules.* – 2019, 24(18), 3344.
28. *Sun L., Song L., Zhang X., Zhou R., Yin J., Luan S.* Poly(γ-glutamic acid)-based electrospun nanofibrous mats with photodynamic therapy for effectively combating wound infection. *Mater. Sci. Eng. C.* – 2020, 110936.
29. *Kaerkitcha N., Sagawa T.* Amplified polarization properties of electrospun nanofibers containing fluorescent dyes and helical polymer. *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2018, 17(3). P.342...351.
30. *Rajan K.P., Thomas S.P., Gopanna A., Chavali M.* Polyhydroxybutyrate (PHB): A Standout Biopolymer for Environmental Sustainability. In *Handbook of Ecomaterials*, Martínez, L.M.T., Kharissova, O.V., Kharisov, B.I., Eds., Springer International Publishing AG: Cham, Switzerland, 2017. P. 1...23.
31. *Woolnough C.A., Yee L.H., Charlton T.S., Foster L.J.R.* Environmental degradation and biofouling of green plastics including short and medium chain length polyhydroxyalkanoates // *Polym Int.* – 2010, 59 (5). 658...667.
32. *Pati S., Maity S., Dash A., Jema S., Mohapatra S., Das S., Samantaray D. P.* Biocompatible PHB production from *Bacillus* species under submerged and solid-state fermentation and extraction through different downstream processing // *Curr. Microbiol.* 2020. 77(24).
33. *Sreedevi S., Unni K.N., Sajith S., Priji P., Josh M.S., Benjamin S.* Bioplastics: advances in polyhydroxybutyrate research // *Adv Polym Sci.* – 2014.
34. *Arrieta M. P., López J., Hernández A., Rayón E.* Ternary PLA–PHB–limonene blends intended for biodegradable food packaging applications // *Eur. Polym. J.* – 2014. 50. 255...270.
35. *Arrieta M. P., López J., Hernández A., Rayón E.* Ternary PLA–PHB–limonene blends intended for biodegradable food packaging applications // *Eur. Polym. J.* – 2014. 50. 255...270.
36. *Karimi A, Karbasi S, Razavi S, Zargar E.* Poly(hydroxybutyrate)/chitosan aligned electrospun scaffold as a novel substrate for nerve tissue engineering // *Adv. Biomed. Eng.* – 2018. 7(11):44.
37. *Saad B., Neuenschwander P., Uhlenschmid G., Suter U.* New versatile, elastomeric, degradable polymeric materials for medicine // *Int. J. Biol. Macromol.* – 1999. 25(1-3). 293...301.
38. *Kim G.M., Wutzler A., Radusch H.J., Michler G.H., Simon P., Sperling R.A., Parak W.J.* One-dimension arrangement of gold nano-particles by electrospinning // *Chem. Mater.* – 2005. 17. 4949...4957.
39. *Dror Y., Salalha W., Khalfin R.L., Cohen Y., Yarin A.L., Zussman E.* Carbon nanotubes embedded in oriented polymer nanofibers by electrospinning // *Langmuir.* – 2003. 19. 7012...7020.
40. *Jun Z., Aigner A., Czubayko F., Kissel T., Wendorff J.H., Greiner A.* Poly (vinyl alcohol) nanofibers by electrospinning as a protein delivery system and retardation of enzyme release by additional polymer coatings // *Biomacromolecules.* – 2005. 6(3). 1484...1488.
41. *Wang H.S., Fu G.D., Li X.S.* Functional Polymeric Nanofibers from Electrospinning // *Recent Pat Nanotechnol.* – 2009. 3(1). 21...31.
42. *Joung K., Bae J.W., Park K.D.* Controlled release of heparin-binding growth factors using heparin-containing particulate systems for tissue regeneration // *Expert Opin Drug Deliv.* – 2008. 5. 1173...1184.
43. *Lu Y., Berry S.M., Pfister T.D.* Engineering novel metalloproteins: design of metal-binding sites into native protein scaffolds. *Chem. Rev.* – 2001. 101(10). 3047...3080.
44. *Zhang Y., Xu C., Li B.* Self-assembly of hemin on carbon nanotube as highly active peroxidase mimetic and its application for biosensing. *RSC Adv.* – 2013. 3(17). 6044.

45. Qu R., Shen L., Chai Z., Jing C., Zhang Y., An Y., Shi L. Hemin-block copolymer micelle as an artificial peroxidase and its applications in chromogenic detection and biocatalysis // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2014. 6(21). 19207...19216.
46. Wang J., Cao Y., Chen G., Li G. Regulation of thrombin activity with a bifunctional aptamer and hemin: development of a new anticoagulant and antidote pair // ChemBiochem – 2009. 10 (13). 2171...2176.
47. Alsharabasy A.M., Pandit A., Farràs P. Recent advances in the design and sensing applications of hemin/coordination polymer - based nanocomposites // Adv. Mater. – 2020. 33(2). 2003883.
48. Zhao Y., Zhang L., Wei W., Li Y., Liu A., Zhang Y., Liu S. Effect of annealing temperature and element composition of titanium dioxide/graphene/hemin catalysts for oxygen reduction reaction // RSC Adv. – 2015. 5(101). 82879...82886.
49. Nitzan Y., Ladan H., Gozansky S., Malik Z. Characterization of hemin antibacterial action on Staphylococcus aureus // FEMS Microbiol. Lett. – 1987. 48(3). 401...406.
50. Dell'Acqua S., Massardi E., Monzani E., Di Natale G., Rizzarelli E., Casella L. Interaction between hemin and prion peptides: binding, oxidative reactivity and aggregation // Int. J. Mol. Sci. – 2020. 21(20). 7553.
51. Zozulia O., Korendovych I.V. Semi - rationally designed short peptides self - assemble and bind hemin to promote cyclopropanation // Angew. Chem. Int. Ed. – 2020. 59(21). 8108...8112.
52. Sedaghat S., Shamspur T., Mohamadi M., Mostafavi A. Extraction and preconcentration of hemin from human blood serum and breast cancer supernatant // J Sep Sci. – 2015. 38(24). 4286...4291.
53. Nishi M., Ishii R., Ikeda M., Hanasaki N., Hoshino N., Akutagawa T., Sumimoto M., Matsuda M. An Electrically Conducting Crystal Composed of an Octahedrally Ligated Porphyrin Complex with High-Spin Iron(III) // Dalton Trans. – 2018. 47(12). 4070...4075. doi:10.1039/c7dt04649a.
54. Pegis M.L., Martin D.J., Wise, C.F., Brezny A.C., Johnson S.I., Johnson L.E., Kumar N., Raugei S., Mayer J. M. The Mechanism of Catalytic O₂ Reduction by Iron Tetraphenylporphyrin // J. Am. Chem. Soc. – 2019. 141(20). doi:10.1021/jacs.9b02640
55. Sun Z.C., She Y.B., Zhou Y., Song X.F., Li K. Synthesis, Characterization and Spectral Properties of Substituted Tetra-phenylporphyrin Iron Chloride Complexes // Molecules. – 2011. 16. 2960...2970. doi:10.3390/molecules16042960
56. McCann S.W., Wells F.V., Wickman H.H., Sorrell T.N., Collman J.P. Magnetic properties of a (tetraphenylporphyrin)iron(III) thiolate: Fe(TPP)(SC₆H₅)(HSC₆H₅) // Inorg. Chem. – 1980. 19(3). 621...628. doi:10.1021/ic50205a010
57. Tovmasyan A., Batinic-Haberle I., Benov L. Antibacterial Activity of Synthetic Cationic Iron Porphyrins // Antioxidants. – 2020. 9(10). 972. doi:10.3390/antiox9100972
58. Stojiljkovic I., Evavold B. D., Kumar V. Antimicrobial properties of porphyrins // Expert Opin Investig Drugs. – 2001. 10(2). 309...320. doi:10.1517/13543784.10.2.309
59. Adler A.D., Longo F.R., Kampas F., Kim J. On the preparation of metalloporphyrins // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 1970. 32 (7). 2443...2445.
60. Lubasova D., Martinova L. Controlled Morphology of Porous Polyvinyl Butyral Nanofibers // J. Nanomater. – 2011 1...6.
61. You Y., Youk J.H., Lee S.W., Min B.M., Lee S.J., Park W.H. Preparation of porous ultrafine PGA fibers via selective dissolution of electrospun PGA/PLA blend fibers // Mater. Lett. – 2006. 60(6). 757...760.
62. Katsogiannis K.A. G., Vladislavljević G.T., Georgiadou S. Porous electrospun polycaprolactone (PCL) fibres by phase separation // Eur. Polym. J. – 2015. 69. 284...295.
63. Domaschke S., Zündel M., Mazza E., Ehret A.E. A 3D computational model of electrospun networks and its application to inform a reduced modelling approach // Int J Solids Struct. – 2019. 178. 76...89.
64. Greenfeld I., Arinstein A., Fezzaa K, Rafailovich M.H., Zussman E. Polymer dynamics in semidilute solution during electrospinning: A simple model and experimental observations // Phys. Rev. – 2011. 84. 041806.
65. Mota C., Puppi D., Dinucci D., Gazzarri M., Chiellini F. Additive manufacturing of star poly(ε-caprolactone) wet-spun scaffolds for bone tissue engineering applications // J Bioact Compat Polym. – 2013. 28. 320...337.
66. Hoffman J.D., Davis G.T., Lauritzen J.I. Treatise on Solid State Chemistry, crystalline and noncrystalline solids, 3rd ed., Plenum Press, New York, 1976. P. 497...498
67. Reneker D.H., Yarin A.L., Fong H., Koombhongse S. Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning // J. Appl. Phys. – 2000. 87(9). 4531...4547.

Поступила 01.08.22.

УДК 678.02

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_234

**ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АДГЕЗИВНОЙ СБОРКИ
ИЗДЕЛИЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ***

**INNOVATIVE ADHESIVE ASSEMBLY TECHNOLOGY
OF PRODUCTS WITH VARIABLE CROSS-SECTION**

Р.М. СУБХАНКУЛОВ, А.В. ИГНАТОВ

R.M. SUBKHANKULOV, A.V. IGNATOV

(Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана)

(Moscow State Technical University named after N. E. Bauman (National Research University))

E-mail: ttp@ivgpu.com

В статье предложен инновационный технологический метод, позволяющий автоматизировать процесс адгезивной сборки многослойных изделий из полимерных композиционных материалов с наиболее сложной геометрической конфигурацией. Метод реализуется с использованием технологической оснастки оригинальной конструкции. Целью исследования является разработка методики проектирования средств технологического оснащения, обеспечивающих заданные эксплуатационные показатели изделий. Методика позволяет последовательно рассчитывать режимы работы составных частей оснастки и выявлять граничные условия их применения. Представлен общий вид прототипа, созданного с применением методики, реализующий прорывной технологический метод.

The article proposes an innovative technological method that allows automating the adhesive assembly process of multilayer products made of polymer composite materials with the most complex geometric configuration. The method is implemented using technological equipment of the original design. The purpose of the study is to develop a methodology for designing technological equipment that provides the specified performance indicators of products. The methodology makes it possible to sequentially calculate the modes of operation of the component parts of the tooling and to identify the boundary conditions for their use. A general view of a prototype created by using a technique that implements a breakthrough technological method is presented.

* НИОКР по теме: “Разработка, изготовление, испытания и доработка прототипа оборудования для бесконтактной выкладки изделий из полимерных композиционных материалов, разработка и исследование образцов композиционных изделий” Выполняется при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям.

Ключевые слова: машиностроение, полимер, обогрев, технология, автоматизация, сборка.

Keywords: mechanical engineering, polymer, heating, technology, automation, assembly.

В современном производстве наметился запрос на замещение классических природных материалов на полимерные композиционные. Преимущество заключается в снижении веса конструкции, повышении прочности, надежности, ресурса, других потребительских качеств. Особое место среди полимерных композиционных материалов занимают материалы, армированные так называемыми волокнами «бесконечной» длины. Они состоят из полимерной матрицы – обычно терморезистивная эпоксидная смола, и армирующего материала – однонаправленное волокно или ткань. Применение таких материалов при изготовлении ответственных изделий позволяет создавать умные конструкции с направленными свойствами (прочностными, деформационными), наиболее полно отвечающими условиям эксплуатации. Классические изотропные материалы не дают такой возможности [1].

Наиболее эффективно возможности композиционных материалов, армированных непрерывными волокнами, могут быть использованы при изготовлении изделий, у которых рабочий наружный профиль является одновременно несущим (изделия без силового каркаса): лопасти вертолетов, ветряков, градирен, лопасти турбин, винты судов и т.д. Применение композитов позволяет создавать изделия, у которых рабочий профиль при приложении эксплуатационных нагрузок деформируется таким образом, чтобы оптимально отвечать условиям работы, без снижения эффективности.

В общем случае технология изготовления композитных изделий, армированных непрерывными волокнами, состоит в следующем:

1) на подготовительном этапе – изготовление формообразующей оправки, определяющей форму изделия, а также нанесение на формообразующие поверхности оправки антиадгезионного состава для того, чтобы

после отверждения изделие не приклеилось к оправке;

2) приготовление полимерного связующего (совмещение основы, отвердителя и других модифицирующих компонентов) и пропитка им волокнистого наполнителя;

3) послойная укладка армирующего наполнителя на оправку в соответствии со схемой так, чтобы направление действия главных напряжений совпадали с направлением волокна (или основы для тканых наполнителей). Укладка должна сопровождаться тщательной прикаткой слоев пропитанного волокнистого наполнителя контактным роликом. Это необходимо для того, чтобы из структуры устранить пузыри воздуха, обеспечить плотную укладку слоев и получить монолитную конструкцию [2];

4) отверждение многослойной конструкции. Для повышения качества изделия отверждение ведут в специальных условиях с использованием технологического оборудования, например, в автоклаве при повышенной температуре и избыточном давлении, или в вакуумном мешке [3];

5) снятие изделия с оправки после отверждения, обрезка припуска, контроль и т.д.

Ежегодно растет потребление композитов в машиностроительном производстве. Быстрый рост требует значительного снижения трудоемкости процесса изготовления и уменьшения производственного цикла. С этой целью разрабатываются различные решения, которые позволяют автоматизировать этапы технологического процесса.

Так, например, для сокращения основного времени изготовления изделий очень часто используют предварительно пропитанные армирующие материалы (препреги). Применение препрегов позволяет отказаться от этапа 2) и использовать материалы, как полуфабрикаты в виде лент или рулонов. С точки зрения форм-фактора пре-

преги представляют собой ленту или рулон упрочняющего материала, защищенного с одной стороны технологической подложкой. При изготовлении изделий с использованием препрегов производят послойную сборку заготовок, или намотку ленты на оправку до требуемой толщины, и отверждают конструкцию при повышенной температуре и давлении [4]. Препреги хранят при низких температурах в промышленных холодильниках и размораживают перед использованием, поэтому в этих условиях полимеризация не происходит.

Еще одно важное направление – это автоматизация этапа 3). Существует множество видов автоматизированной намотки. Наматывают как ленты из препрегов, так и материалы, пропитанные непосредственно перед применением, например, через ванну со связующим; разработаны различные модификации – намотка с прикаткой и т. д.

В последнее время получили особенное развитие различные роботизированные комплексы по выкладке. Основная идея состоит в том, чтобы выполнять этап 3), используя контактную роликовую головку, которая перемещается с помощью роботизированной «руки» по сложной поверхности формообразующей оправки. Выкладочная головка оснащается различными системами для более качественной выкладки без остановок: инфракрасным нагревателем, автоматическим резаком и т. д.

Недостатками таких комплексов являются:

1) жесткий ролик не позволяет осуществлять выкладку профилей, имеющих малые радиусы гибов, выступы и поднутрения;

2) для предотвращения прилипания к ролику материала его необходимо прикапывать через технологическую подложку. Открепление подложки от материала после прикатки может приводить к отклеиванию материала от оправки;

3) для того, чтобы при выкладке материал хорошо прилипал к оправке (на которую нанесен антиадгезионный состав), его приходится подогревать. При этом усиливается неблагоприятный эффект, описанный в предыдущем пункте;

4) необходима сложная кинематика.

Инновационное решение авторов статьи состоит в применении горячей направленной струи из форсунки при выкладке в качестве бесконтактного средства, замещающего ролик и позволяющего обойти перечисленные недостатки.

Цель работы – разработка оригинального технологического метода и технологической оснастки, позволяющих повысить стабильность качественных характеристик и снизить трудоемкость изготовления многослойных изделий переменного сечения из полимерных композиционных материалов.

Научная новизна исследования состоит в выявлении закономерностей выполнения и управления технологическим процессом изготовления композиционных изделий переменного сечения.

Практическая значимость исследования заключается в предложении оригинального технологического метода изготовления композиционных изделий переменного сечения, разработке методик управления характеристиками метода и технологической отработки конструкции регулируемых изделий переменного сечения.

Внедрение результатов исследования позволит расширить возможности по применению современных композиционных материалов при изготовлении элементов пространственно сложной геометрической формы. Реализация технологического метода при изготовлении изделий переменного сечения из полимерных композиционных материалов позволит:

1. Снизить в 1,5...5,0 раз трудоемкость изготовления композиционных изделий переменного сечения за счет автоматизации процесса послойной выкладки, по сравнению с ручной сборкой.

2. Увеличить качество, стабильность качественных характеристик композиционных изделий переменного сечения.

3. Сократить длительность технологического процесса изготовления композиционных изделий переменного сечения в 2...5 раз за счет эффективного управления технологическими режимами.

4. Уменьшить на 15...20% производственные расходы за счет сокращения но-

менклатуры применяемой технологической оснастки по сравнению с аналогами.

5. Снизить вредное воздействие на исполнителей токсичных компонентов полимерных композиционных материалов.

Расчет основных конструктивных элементов производится по оригинальной методике, позволяющей последовательно выявлять основные параметры проектируемой оснастки, обеспечивающей заданные технологические режимы.

В соответствии с методикой на первом этапе производится расчет площади поперечного сечения сопла форсунки с учетом ее конструктивных особенностей. Конфигурация форсунки определяется шириной используемой при нанесении ленты упрочняющего материала. Конструкция разработанного прототипа позволяет устанавливать форсунки различного типоразмера, обеспечивающие нанесение ленты с шириной от 10 до 50 мм, в зависимости от сложности профиля будущего изделия. Расчетным является случай с форсункой под максимальную ширину ленты. В рассматриваемом случае выбрана форсунка из нержавеющей стали, имеющая 22 отверстия диаметром 0,9 мм, с рабочей температурой до 400°C, образующая плоскую струю.

Площадь поперечного сечения сопла форсунки с учетом ее конструктивных особенностей, м²:

$$A = n\pi r^2, \quad (1)$$

где n – количество отверстий в форсунке; r – радиус отверстия в форсунке.

На втором этапе рассчитывается расход сжатого воздуха через сопло форсунки, используя соотношение [5]:

$$m = CA\rho\sqrt{\left(\frac{kM}{ZRT}\right)\left(\frac{2}{k+1}\right)^{(k+1)/(k-1)}}, \quad (2)$$

где m – массовый расход газа; C – поправочный коэффициент по пропускной способности сопла; A – площадь сечения сопла; ρ – абсолютное давление газа перед соплом; k – коэффициент; M – молекулярная масса; Z – коэффициент сжимаемости;

R – константа идеального газа; T – температура газа перед соплом.

Исходя из соотношения (2), расход сжатого воздуха при направленном воздействии струей на пропитанный полимерным связующим упрочняющий материал зависит от требуемого давления направленной струи, температуры прогрева, а также площади поперечного сечения сопла.

Объемный расход сжатого воздуха, м³/ч:

$$V = \frac{m}{\rho} \cdot 3600, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха.

На третьем этапе определяется требуемая производительность внешнего источника сжатого воздуха, л/мин:

$$P = \frac{m}{\rho} \cdot 1000 \cdot 60. \quad (4)$$

На четвертом этапе определяется максимальная мощность нагревателя. Для этого используется соотношение:

$$N = \frac{V\rho c\Delta T}{3600}, \quad (5)$$

где N – максимальная мощность электронагревателя; c – удельная массовая теплоемкость воздуха; ΔT – изменение температуры.

На пятом этапе производится выбор электронагревателя. Исходя из условий энергоэффективности и безопасной работы, в качестве нагревателя сжатого воздуха может быть выбран электронагреватель меньшей мощности, чем полученной в результате расчета. При этом достижение заданной температуры нагрева сжатого воздуха должно обеспечиваться соответствующей регулировкой его расхода. Поэтому прототип оснащен терморегулятором с обратной связью и бесступенчатым регулятором давления.

Прототип, реализующий оригинальную технологию бесконтактной выкладки изделий из полимерных композиционных материалов, состоит из следующих основных конструктивных элементов: форсунки 1, привода 6 вращения оправки и привода 2

продольного перемещения каретки, и предназначен для осуществления регулируемого послойного нанесения предварительно пропитанного полимерным связующим упрочняющего волокна на поверхность формообразующей оснастки с применением горячей направленной струи воздуха из форсунки [6].

Прототип содержит закрепленные на основании 4 стойки 5. На одной из стоек смонтирован привод с валом, на который с помощью трехкулачкового самоцентрирующего патрона и заднего центра устанавливается формообразующая оправка.

Прототип оснащен кареткой 3, продольное перемещение которой вдоль направляющих осуществляется специальным приводом. На каретке с возможностью горизонтального настроечного перемещения установлена воздушная форсунка, которая соединена воздухопроводом и шлангом 10 с выходом внешнего источника сжатого воздуха.

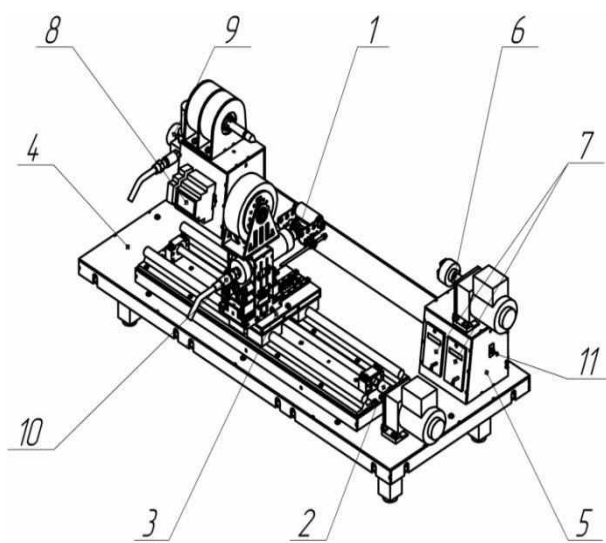


Рис. 1

На рис. 1 представлен общий вид прототипа, где 1 – форсунка в сборе с нагревателем, 2 – привод продольного перемещения каретки, 3 – каретка, 4 – основание, 5 – стойки, 6 – привод вращения формообразующей оправки, 7 – контроллеры приводов, 8 – терморегулятор с обратной связью, 9 – регулятор давления с манометром, 10 – шланг, 11 – тумблер.

Эффективная работа прототипа обеспечивается своевременным регулированием технологических режимов по давлению, температуре направленной струи воздуха из сопла форсунки, которое осуществляется с панели терморегулятора 8, и регулятором давления 9. Настройка взаимосвязанных параметров работы приводов вращения и продольного перемещения каретки осуществляется с использованием контроллеров 7.

Представленная выше методика расчета основных конструктивных элементов прототипа оборудования, состоящая из 5 этапов, позволяет последовательно рассчитывать основные параметры оснастки, обеспечивающие заданные технологические режимы. Методика универсальная и может быть использована при расчете линейки оборудования для бесконтактной выкладки изделий с требуемыми для заказчика показателями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ignatov A.V., Subkhankulov R.M. (2021, February). Developing a technology for the automated manufacturing of composite products with a variable cross-section. In AIP Conference Proceedings. – 2021. Vol. 2318, № 1. P. 150034). AIP Publishing LLC.
2. Слюсарь Б.Н., Флек М.Б., Гольдберг Е.С., Рождественская Н.В., Шевцов С.Н. Технология вертолетостроения: Технология производства лопастей вертолетов и авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов // Scientific magazine Kontsep. – 2013.
3. Ren F., Yu Y., Cao M., Li Y., Xin C., & He, Y. Effect of pneumatic spreading on impregnation and fiber fracture of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2017. 36(21). 1554...1563.
4. Ignatov A., Subkhankulov R. (2019). Eco-friendly technology of manufacturing complex products made of composites. In E3S Web of Conferences. – 2019. Vol.140. P. 02004). EDP Sciences.
5. Kang C., Shi Y., Yu T., Zhao P., Deng B., Chen Z., Zhang H. Experimental investigation of friction between prepreg tape and compaction roller for prepreg tape hoop winding // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2018. 37(12). 853...862.
6. Субханкулов Р.М., Игнатов А.В. Разработка классификации полимерных изделий переменного сечения // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2018, №12. С. 531...536.

REFERENCES

1. Ignatov A.V., Subkhankulov R.M. (2021, February). Developing a technology for the automated manufacturing of composite products with a variable cross-section. In AIP Conference Proceedings. – 2021. Vol.2318, № 1. P. 150034). AIP Publishing LLC.

2. Slyusar B.N., Flek M.B., Goldberg E.S., Rozhdestvenskaya N.V., Shevtsov S.N. Helicopter technology: Technology for the production of helicopter blades and aircraft structures from polymer composite materials // Scientific magazine Kontsep. – 2013.

3. Ren F., Yu Y., Cao M., Li Y., Xin C., & He, Y. Effect of pneumatic spreading on impregnation and fiber fracture of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2017. 36(21). 1554...1563.

4. Ignatov A., Subkhankulov R. (2019). Eco-friendly technology of manufacturing complex products made of composites. In E3S Web of Conferences. – 2019. Vol.140. P. 02004). EDP Sciences.

5. Kang C., Shi Y., Yu T., Zhao P., Deng B., Chen Z., Zhang H. Experimental investigation of friction between prepreg tape and compaction roller for prepreg tape hoop winding // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2018. 37(12). 853...862.

6. Subkhankulov R.M., Ignatov A.V. Development of the classification of polymer products of variable cross section // Assembly in mechanical engineering, instrument making. – 2018, № 12. P. 531...536.

Поступила 01.08.22.

УДК 7.011.26

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_240

**К 160-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
СОЗДАТЕЛЯ РУССКОЙ ШКОЛЫ ИСКУССТВА КОСТЮМА Н.П. ЛАМАНОВОЙ**

**TO THE 160th ANNIVERSARY OF N.P. LAMANOVA (THE FOUNDER
OF THE RUSSIAN SCHOOL OF COSTUME ART) BIRTHDAY**

Т.М. ЩЕГЛОВА, Т.М. НОЗДРАЧЕВА

T.M. SHCHEGLOVA, T.M. NOZDRACHEVA

(Старооскольский техникум технологий и дизайна,
Юго-Западный государственный университет)

(Stary Oskol College of Technology and Design,
Southwest State University)

E-mail: tatyana.sttd2014@yandex.ru; noztat@yandex.ru

В статье рассмотрены биографические сведения художника по костюму, автора теоретической программы моделирования костюма – Н.П. Ламановой. В основе разработанных моделей бытового костюма лежали народные мотивы и народное творчество. Художественная значимость создаваемого современного костюма в синтезе с особенностями народного костюма в начале XX в. служит основанием утверждать, что Надежда Петровна Ламанова является создателем русской школы искусства костюма.

The article deals with the biographical information of the costume designer, the author of the theoretical costume modeling program - N.P. Lamanova. The developed models of the household costume were based on both folk motifs and art. The artistic significance of the modern costume being created in synthesis with the peculiarities of folk costume at the beginning of the XX century serves as a basis to assert that Nadezhda Petrovna Lamanova is the creator of the Russian school of costume art.

Ключевые слова: творческий путь, костюм, русский стиль, эскиз, декор, силуэт, моделирование костюма, форма костюма.

Keywords: creative path, costume, Russian style, sketch, decor, silhouette, costume modeling, costume shape.

Искусство создания костюма, проектирование необычных, интересных и стильных моделей одежды всегда являются объектом внимания художников-дизайнеров, модельеров, конструкторов. При этом твор-

ческими источниками для проектирования костюма могут быть не только явления и формы живой природы, события общественной жизни, художественные произведения литературы и искусства, историчес-

кие, народные и национальные костюмы, произведения архитектуры, инженерные сооружения и др., но и творчество талантливых дизайнеров костюма. К числу таких великих людей в истории нашего Отечества по праву относится кутюрье номер один в России начала XX века – Надежда Петровна Ламанова, творчество которой есть синтез русских национальных особенностей (крой и декор костюма) и лучших традиций зарубежной моды.

Современный "Русский стиль", совместивший утилитарность и художественность, русская школа моделирования костюма – результаты творческого пути Н.П. Ламановой. В 2021 году этому знаменитому и талантливому дизайнеру одежды, оказавшему ведущую роль на формирование костюма не только в России, но и во всем мире, исполнилось 160 лет со дня рождения.

Рис. 1 – портрет работы В.А. Серова, 1911 г., Н.П. Ламанова.



Рис. 1

Собственный стиль, характерный для России, новые знания, которые она получает, участь у известных модельеров Европы, позволяют разработать новые уникальные модели платьев, которые прославили ее мастерскую и способствовали расширению заказчиков из числа российской аристократии и прогрессивной интеллигенции. В конце XIX в. заказывать платья у Надежды Петровны начинает императрица Александра Федоровна [1].

Высокий профессионализм, постоянное совершенствование в профессии, природный талант способствовали высокому авторитету мастерской Надежды Ламановой и возможности стать "поставщиком Ея Императорского Высочества Великой Княгини Елизаветы Федоровны" (1898г.) и "поставщиком Ея Императорского Величества Императрицы Александры Федоровны" (1904г.) [2]. Ее заказчица, княгиня Варвара Долгорукова, говорила, что Ламанова – русский гений элегантности [3, с. 146...147].

С 1901г. начинается сотрудничество Ламановой со Станиславским и МХАТ, которое продлится до последних дней ее жизни и станет ее частью. Это одна из граней ее творчества и важный этап формирования русского костюма [4]. В период "театральной жизни" Надежда Петровна создает точные копии костюмов в ткани по эскизам лучших русских художников – М. Врубеля, Н. Гончаровой, А. Головина, Л. Бакста. Ее высочайшее мастерство выражалось в тонкости переноса художественного образа с эскиза на ткань, удивляя всех конечным результатом. В этом был ее уникальный талант [5, с. 79...83]. Восхищаясь ее работой, К.С. Станиславский говорил о ней, что это талант и самородок, второй Шаляпин в своем деле.

Для знаменитых "Русских сезонов" С.П. Дягилева в Париже по эскизам Л. Бакста была создана целая серия костюмов к новым балетным постановкам, оказавшим огромное влияние как на моду Европы начала XX в., так и на формирование нового стиля в массовой моде ("à la Russe"). Предложению Поль Пуаре открыть свой Дом моды в Европе, она предпочла остаться на родине.

Октябрьская революция 1917 г. стала переломным моментом как в жизни, так и в творчестве мастера – в формировании русской школы искусства костюма. В своих мемуарах она напишет, что "...революция изменила мое имущественное положение, но она не изменила моих жизненных идей, а дала возможность в несравненно более широких размерах проводить их в жизнь" [6, с. 40].

Дальнейшему развитию моды в нашей стране и швейной промышленности послужила активная деятельность Надежды Ламановой в послереволюционный период. В первые революционные годы она выявляет новые аналитические идеи взаимоотношения конструкции, линий, цвета, что позволяет при разработке новых женских платьев использовать рационально материал, используя принцип функционализма.

В основу кроя ее моделей лег прямоугольник, отражающий простоту кроя, форму которого она бесконечно варьировала в различных видах одежды и художественную особенность народного костюма, отсутствие обрезков ткани, дешевизну готовых вещей массового производства. Основной силуэт платьев – рубашка. Художественные формы, национальные черты, практические потребности нового времени составляли синтез основы бытового костюма (красивого по силуэту, удобного в движении, из простых материалов), более подходящего к новому укладу трудовой жизни.

Создание красивой и утилитарной одежды для широких слоев общества являлось важной составляющей для Н.П. Ламановой при создании проектов нового массового костюма. Она любила народный костюм, который был основным творческим источником формообразования костюмов. Отсюда главное в ее моделях – национальная самобытность. Ею были изготовлены и

предложены простые, удобные и практичные в носке, дешевые скромные виды одежды (легкое платье, свободный жакет, пальто) с простым кроем, экономным расходом ткани и имеющих доступную дешевую цену [7].

Русская школа моделирования костюма получила признание как в Европе, так и во всем мире в 1925 г. после Всемирной международной выставки "Art Decoratifs" в Париже. Н.П. Ламанова в соавторстве с В.И. Мухиной, по ее эскизам, создала новую коллекцию моделей одежды с национальными традициями: из домотканого холста платье с рубашечным кроем и вышивкой, которая получила "Гран-при" за национальную самобытность в сочетании с модным европейским направлением [7]. Конструктивная форма каждой модели была продумана с учетом европейского направления моды начала 20-х годов XX века.

Надежда Петровна щедро делилась с помощниками и учениками личным опытом, наблюдениями, мастерством. В этом заключалась важная черта ее творчества. Ламановские идеи имели своих последователей. Одной из первых, продолжавших использовать народные традиции в формообразовании современного костюма, была Н.С. Макарова, возглавившая в 1934г. Московский Дом моделей на Кузнецком мосту. Это был первый творческий центр моделирования нашей страны [8].



а)

б)

в)

г)

Рис. 2

На рис. 2. представлены модели костюмов Н.П. Ламановой: а) – платья 1920-х годов по мотивам народного костюма (Лиля Брик и ее сестра Эльза Триоле); б) – платье из холщевых полотенец с вышивкой ("Женский журнал", № 1, 1926. С. 17); в) – нарядный туалет из тонкого белого тюля; г) – модель из кустарных тканей.

Надежда Петровна Ламанова прожила интересную творческую жизнь, создавая огромное количество настоящих произведений искусства, которые сохранились в России и составляют сегодня золотой фонд собраний костюма Государственного Эрмитажа (г. Санкт-Петербург), Исторического музея и Музея декоративно-прикладного и народного искусства (г. Москва).

Главным фактором творчества Н.П. Ламановой, подтверждающим ее гениальность, является то, что теория "костюм – часть образа человека", выдвигаемая ею много лет назад, современна и актуальна сегодня.

ВЫВОДЫ

Анализируя творчество Надежды Петровны Ламановой, можно сделать вывод о том, что оно оказало большое значение на развитие "Русского стиля" в Европе. Ярким примером этому служат работы П. Пуаре, Г. Шанель, К. Диора, И. Сен-Лорана и других [9], [10].

Элементы русского стиля ("a la Russe"), характерной приметой которого считается органичное соединение народных мотивов с новейшими тенденциями мировой моды, в своих коллекциях одежды демонстрировали и демонстрируют на подиумах крупнейшие бренды и Дома моды, такие как Kenzo, Chanel, Valentino, Dolce&Gabbana, Д. Гальяно, К. Диор, П. Карден, М. Прада и др. Молодые российские дизайнеры В. Аверьянова, А. Ахмадулина, И. Гуляев, А. Романцова, У. Сергеенко, Д. Симачев и др. гордятся своей "русскостью" и открыто демонстрируют это во время показов своих коллекций haute couture и pret-a-porter [11].

В память о Н.П. Ламановой в Доме Моды В. Зайцева (г. Москва) ежегодно с 1994 г. проходит профессиональный конкурс модельеров ее имени.

1. *Грачева Т.Л., Маркович, М.А.* Н.П. Ламанова – легенда российской моды. Материалы 1-й Научн.-практ. конф.: "Российская мода" в Доме Моды В. Зайцева. 19 февраля 2016 г. // Режим доступа: https://lamanova.com/16_report190216.html (дата обращения: 12.12.2021).

2. Награды и звания. Виртуальный музей Надежды Петровны Ламановой. // Режим доступа: https://lamanova.com/16_honors.html (дата обращения: 09.12.2021).

3. *Васильев А.А.* Русская мода. 150 лет в фотографиях. – М.: Слово/Slovo, 2004.

4. *Захаржевская Р.В.* История костюма: От античности до современности. – М.: РИПОЛ классик, 2006.

5. *Ермилова Д.Ю.* История домов моды – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018.

6. *Стриженова Т.К.* Судьба Надежды Ламановой. Журнал мод. – 1989, № 4. С. 40...41.

7. *Пармон Ф.М.* Композиция костюма. Одежда, обувь, аксессуары. – М.: Легпромиздат, 1997.

8. *Щипакина А.А.* Мода в СССР. Советский Кузнецкий, 14. – М.: Слово/Slovo, 2009.

9. *Горбачева Л.М.* Костюм XX века от Поля Пуаре до Эммануэля Унгаро. – М.: "Гитис", 1996.

10. *Pyra Parkins.* Poiret, Dior and Schiaparelli: fashion, femininity and modernity. – London: Berg, 2012.

11. *Щеглова Т.М.* Современные аспекты реализации этнокультурных технологий в условиях среднего профессионального образования. Научный результат // Педагогика и психология образования. – 2019. Т. 5, № 4. С. 41...54.

REFERENCES

1. Gracheva T.L., Markovich, M.A. N.P. Lamanova is a legend of Russian fashion. Materials of the 1st Scientific and Practical Conference "Russian Fashion" in the V. Zaitsev Fashion House. February 19, 2016 // Access mode: https://lamanova.com/16_report190216.html (accessed 12/12/2021).

2. Awards and titles. Virtual Museum of Nadezhda Petrovna Lamanova. // Access mode: https://lamanova.com/16_honors.html (date of access: 12/09/2021).

3. Vasiliev A.A. Russian fashion. 150 years in photographs. – M.: Slovo / Slovo, 2004.

4. Zakhazhevskaya R.V. Costume History: From Antiquity to the Present. – M.: RIPOL classic, 2006.

5. Ermilova D.Yu. The history of fashion houses: textbook. allowance for SPO / 3rd id., corrected. and additional – M.: Yurayt Publishing House, 2018.

6. Strizhenova T.K. The fate of Nadezhda Lamanova. Fashion magazine. – 1989, № 4. P. 40 ... 41.

7. Parmon F.M. Costume composition. Clothes, shoes, accessories. – M.: Legpromizdat, 1997.

8. Shchipakina A.A. Fashion in the USSR. Soviet Kuznetsky, 14. – M.: Slovo / Slovo, 2009.

9. Gorbacheva L.M. XX century costume from Paul Poiret to Emmanuel Ungaro. – M.: "Gitis", 1996.

10. Ilya Parkins. Poiret, Dior and Schiaparelli: fashion, femininity and modernity. – London: Berg, 2012.

11. Shcheglova T.M. Modern aspects of the implementation of ethno-cultural technologies in the conditions of secondary vocational education. scientific result

// Pedagogy and psychology of education. – 2019. V. 5, № 4. P. 41...54.

Поступила 10.08.22

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика, управление и организация производства

<i>Мишуров С.С., Романова К.Е., Зайцева И.А.</i> Концепция становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области	5
<i>Ситкевич Д.А.</i> Кластеры как инструмент сохранения конкурентоспособности текстильной отрасли: опыт Италии	13
<i>Соколов Л.А.</i> Управление человеческими рисками на производственных предприятиях	21
<i>Ярош О.Б., Жаворонкова З.А.</i> Нейромаркетинговые аспекты продвижения товаров легкой промышленности в туристическом регионе	27

Материаловедение

<i>Орлов А.В., Пашин Е.Л.</i> Совершенствование методики расчета углового ускорения активного зажима для определения усилия разрыва волокна на машине копрового типа	37
<i>Шустов Ю.С., Пушкина Ж.С.</i> Исследование свойств текстильных материалов и пакетов одежды для защиты от термического воздействия электрической дуги.....	43
<i>Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гойс Т.О., Гусев Б.Н.</i> Прогнозирование нормативных значений показателей качества нетканых геотекстильных полотен	47
<i>Кащеев О.В., Шустов Ю.С.</i> Прогнозирование разрывной нагрузки хлопкового волокна тонковолокнистых сортов хлопчатника	52
<i>Ясинская Н.Н., Скобова Н.В.</i> Влагоперенос в текстильных материалах из функциональных нитей	56
<i>Севостьянов П.А., Минаева Н.В., Самойлова Т.А., Городенцева Л.М.</i> Влияние некоторых факторов компонентов на периодическую неравномерность по составу смешанного волоконистого потока ...	62
<i>Трецалин Ю.М., Трецалин М.Ю., Матрохин А.Ю.</i> Определение выражения условного модуля упругости нетканых материалов в зависимости от их пористости	66
<i>Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В.</i> Повышение качества суконной ткани для спецодежды после наноструктурирования плазмой	69
<i>Хамматова Э.А.</i> Повышение стойкости к морской воде наноструктурированных тканей для защитной спецодежды	72

Первичная обработка. Прядение

<i>Газиева С.А., Иброгимов Х.И., Исматов И.А., Плеханов А.Ф.</i> Теоретическое исследование момента схода частицы хлопка-сырца с лопастей барабанной сушилки с применением математического аппарата MATLAB	83
<i>Рудовский П.Н., Белова И.С., Кузнецова Н.С., Палочкин С.В.</i> Исследование свойств льняной пряжи, полученной клеевым способом	90
<i>Родионов С.А., Хосровян А.Г., Жукова А.А., Хосровян И.Г., Алешин Р.Р., Хосровян Г.А.</i> Инновационные разработки теории и технологии производства одиночной и крученой пряжи с содержанием льноволокна	96

Технология текстильных изделий

<i>Махмудова Г., Таишулатов С.Ш., Рузметова Г.А., Акбаров Р.Д., Холиков К.М.</i> Анализ результатов испытаний плюшевого трикотажа на базе жаккардового переплетения	109
<i>Демидова М.А., Рыклин Д.Б., Молоток В.А., Ржеусский С.Э.</i> Анализ способов приготовления прядильных растворов для получения гемостатических пленок методом электроформования	115
<i>Тхань Нгуен Хоанг, Олехнович Р.О., Успенская М.В.</i> Получение нановолокон на основе поли-3-гидроксibuтирата методом электроформования	122

Химия и технология отделки и модификации

<i>Солодушенкова Т.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А., Радченко О.В.</i> Влияние полимерных компонентов льняного волокна на жесткость тканого полотна	128
--	-----

<i>Раскачнова М.В., Ионкина М.Н., Козлова О.В., Одинцова О.И., Санжеева Е.Б.</i> Модификация трикотажного полотна под крашение активными красителями	135
--	-----

Швейное производство

<i>Синьчжоу У., Кузьмичев В.Е.</i> Виртуальные цифровые двойники в проектировании костюмов для подводного плавания	141
<i>Москвин А.Ю., Москвина М.А., Кузьмичев В.Е.</i> Генерирование разверток сканированной исторической одежды	147
<i>Мамедова Х.Ф., Таипулатов С.Ш., Мамедов Ф.А., Исмаилов В.А.</i> Разработка технологии изготовления одежды для учащихся лицей	153
<i>Григорьева З.Р., Очоа Бенитес В.А., Будеева О.Н.</i> Совершенствование моделей одежды специального назначения для дефектоскопистов нефтегазовой отрасли	160

Текстильные машины и агрегаты

<i>Росулов Р.Х.</i> Исследование взаимодействия летучек с колосниками очистителя	166
<i>Муродов О.Ж., Джураев А.Д., Плеханов А.Ф., Таипулатов Д.С.</i> Влияние параметров пластмассового многогранного колосника на упругих опорах в очистителе хлопка-сырца на частоту колебаний системы и эффект очистки волокнистой массы от сорных и жестких примесей	171
<i>Отынишев М.Б., Кудер К., Разумеев К.Э.</i> Модернизация моечной машины для получения мытой шерсти с минимальным остаточным жиром	176
<i>Ходжиев М.Т., Джураев А., Аиуров А.К.</i> Динамика агрегата машины с фрезерным механизмом разборщика бунтов хлопка	179

Автоматизация и информационные технологии

<i>Егорова М.А., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М.</i> Вариант математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов	185
--	-----

Техническая эстетика и дизайн

<i>Осипова С.Ю., Белько Т.В.</i> Соотношение этнических символов исторических культур с современными костюмами, аксессуарами и украшениями	193
<i>Цветкова Н.Н.</i> Объекты "Fiber Art" как часть природной и городской среды	200

Композиты на волокнистой основе

<i>Беев А.А., Хаширова С.Ю., Слонов А.Л., Мусов И.В., Беева Д.А., Жанситов А.А., Долбин И.В.</i> Полиэфиримидные композиционные материалы, наполненные аппретированными стеклянными волокнами	207
<i>Бу Тхи Хонг Ньунг, Морозкина С.Н., Успенская М.В.</i> Создание системы доставки и исследование технологических параметров электроформования для интеграции мангиферина в нановолокна ПВС-хитозан	215
<i>Зубова Н.Г., Герасимова В.М., Устинова Т.П.</i> Свойства эпоксидного композиционного материала на основе модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-жгутика	219
<i>Тюбаева П.М., Зыкова А.К.</i> Исследование нового класса композиционных волокнистых материалов на основе биополимеров для регенеративной медицины	223

Передовые производственные технологии

<i>Субханкулов Р.М., Игнатов А.В.</i> Инновационная технология адгезивной сборки изделий переменного сечения	234
--	-----

Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

<i>Щеглова Т.М., Ноздрачева Т.М.</i> К 160-летию юбилею со дня рождения создателя русской школы искусства костюма Н.П. Ламановой	240
--	-----

CONTENTS

Economics and Production Planning

<i>Mishurov S.S., Romanova K.E., Zaytseva I.A.</i> The Formation Concept of the Fashion Industry National Center on the Basis of the Traditional Textile Complex of the Ivanovo Region	5
<i>Sitkevich D.A.</i> Clusters as a Tool for Keeping the Competitiveness of the Textile Industry: Italy Practice	13
<i>Sokolov L.A.</i> The Human Risk Management on Industrial Plants	21
<i>Yarosh O.B., Zhavoronkova Z.A.</i> Neuromarketing Aspects of the Promotion of Light Industry Goods in the Tourist Region	27

Materials

<i>Orlov A.V., Pashin E.L.</i> The Improvement of the Method of the Angular Acceleration Active Clamp Calculation for the Determination of the Force of Fiber Breaking on the Copra Type Machine	37
<i>Shustov Yu.S., Pushkina Zh.S.</i> Research of Both the Properties of Textile Materials and Packages of Clothing for Protecting the Thermal Exposure of the Electric Arc	43
<i>Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gois T.O., Gusev B.N.</i> Prediction of Regulatory Values Quality Indicators of Non-Woven Geotextile Fabrics	47
<i>Kashcheev O.V., Shustov Yu.S.</i> Forecasting of Cotton Fiber Breaking Load of Cotton Grades	52
<i>Yasinskaya N.N., Skobova N.V.</i> Moisture Transfer in Textile Materials from Functional Threads	56
<i>Sevostyanov P.A., Minaeva N.V., Samoiloa T.A., Gorodentseva L.M.</i> The Influence of Some Components Factors on the Periodic Non-Uniformity in the Composition of the Mixed Fibrous Flow	62
<i>Treschalin Yu.M., Treschalin M.Yu., Matrokhin A.Yu.</i> Expression Determination of the Conditional Elasticity Modulus of Nonwoven Materials Depending on Their Porosity	66
<i>Gainutdinov R.F., Khammatova V.V.</i> Improving the Quality of Cloth Fabric for Workwear after Plasma Nanostructuring	69
<i>Khammatova E.A.</i> Increasing the Resistance to Seawater of Nanostructured Fabrics for Protective Workwear	72

Preliminary Treatment. Spinning

<i>Gazieva S.A., Ibrogimov H.I., Ismatov I.A., Plekhanov A.F.</i> Theoretical Study of Discharge Moment of Raw Cotton Particles from the Blades of a Drum Dryer Using the Matlab Mathematical Apparatus	83
<i>Rudovsky P.N., Belova I.S., Kuznetsova N.S., Palochkin S.V.</i> Investigation of the Properties of Linen Yarn Obtained by the Adhesive Method	90
<i>Rodionov S.A., Khosrovyan A.G., Zhukova A.A., Khosrovyan I.G., Aleshin R.R., Khosrovyan G.A.</i> Innovative Developments in the Theory and Technology of Production of Single and Twisted Yarn Containing Flax Fibers	96

Technology of Textile Products

<i>Makhmudova G., Tashpulatov S.Sh., Ruzmetova G.A., Akbarov R.D., Holikov K.M.</i> Analysis of Test Results of Knitted Plush on the Basis of Jacquard Binding	109
<i>Demidova M.A., Ryklin D.B., Molotok V.A., Rzhuevskij S.E.</i> Analysis of Spinning Solutions Preparing Methods for Electrospinning of Hemostatic Films	115
<i>Thanh Nguyen Hoang, Olekhovich R.O., Uspenskaya M.V.</i> Production of Poly-3-Hydroxybutyrate-Based Fibers by Electrospinning	122

Chemistry and Technology of Finishing and Modification

<i>Solodushenkova T.S., Kornilova N.L., Koksharov S.A., Radchenko O.V.</i> Influence of Linen Fiber Polymeric Components on the Rigidity of Woven Fabric	128
<i>Raskachnova M.V., Ionkina M.N., Kozlova O.V., Odintsova O.I., Canzheeva E.B.</i> Modification of Knitted Fabric for Dyeing with Fiber-Reactive Dyes	135

Sewing

<i>Wu Xinzhou, Kuzmichev V.E.</i> Digital Twins for Wetsuit Design	141
<i>Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.</i> Block Pattern Generation of the Scanned Historical Garments	147

<i>Mamedova Kh.F., Tashpulatov S.Sh., Mamedov F.A., Ismayilov V.A.</i> Development of Clothing Manufacturing Technology for Lyceum Students	153
<i>Grigoreva Z.R., Benites Ochoa, Budeeva O.N.</i> Improvement of Special-Purpose Clothing Models for Flaw Detectors in the Oil and Gas Industry	160

Textile Machines and Aggregates

<i>Rosulov R.Kh.</i> Investigation of the Interaction of Volts with Cleaner Grates	166
<i>Murodov O.J., Juraev A.J., Plekhanov A.F., Tashpulatov D.S.</i> Influence of Parameters of a Plastic Multi-Face Grate on Elastic Supports in A Cotton Cleaner on the Frequency of System Vibrations and the Effect of Cleaning Fiber Mass from Weed and Hardimpurities	171
<i>Otyunshiev M.B., Kuder K., Razumeev R.E.</i> Modernization of the Scouring Machine to Produce Wool with Minimal Residual Fat	176
<i>Xodjiev M.T., Djuraev A., Ashurov A.K.</i> Dynamics of the Machine Aggregate with a Milling Mechanism of the Cotton Bundle Disassembler	179

Automation and Information Technologies

<i>Egorova M.A., Vagner V.I., Klimova N.S., Litvinov A.M.</i> A Variant of Mathematical Modeling of Polymeric Textile Materials Operating Processes	185
---	-----

Technical Aesthetics and Design

<i>Osipova S.Y., Belko T.V.</i> The Ratio of Ethnic Symbols of Historical Cultures with Modern Costumes, Accessories and Jewelry	193
<i>Tsvetkova N.N.</i> Fiber Art Objects as Part of the Natural and Urban Environment	200

Fiber-based Composites

<i>Beev A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Musov I.V., Beeva D.A., Zhansitov A.A., Dolbin I.V.</i> Polyesterimide Composites Filled with Sized Glass Fibers	207
<i>Vu Thi Hong Nhung, Morozkina S.N., Uspenskaya M.V.</i> The Development of Delivery System and the Investigation of the Technological Parameters of Electrospinning for the Integration of Mangiferin Into Pva-Chitosan Nanofibers	215
<i>Zubova N.G., Gerasimova V.M., Ustinova T.P.</i> Properties of Epoxy Composite Material Based on Modified Agm-9 and Oxidized Pan-Flagellum	219
<i>Tyubaeva P.M., Zykova A.K.</i> Study of a New Class of Composite Fibrous Materials Based on Biopolymers for Regenerative Medicine	223

Advanced Manufacturing Technologies

<i>Subkhankulov R.M., Ignatov A.V.</i> Innovative Adhesive Assembly Technology of Products with Variable Cross-Section	234
--	-----

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

<i>Shcheglova T.M., Nozdracheva T.M.</i> To the 160th Anniversary of N.P. Lamanova (The Founder of the Russian School of Costume Art) Birthday	240
--	-----