

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

№ 6 (402)  
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@ivgpi.com](mailto:ttp@ivgpi.com)  
<http://ttp.ivgpi.com>*

---

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 01.12.2022. Подписано в печать 29.12.2022. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 27,9; Усл. кр.-отт. 28,15. Заказ 5062.

Тираж 400 экз.

---

"Известия вузов. Технология текстильной промышленности"  
Издание Ивановского государственного политехнического университета  
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21  
E-mail: [ttp@ivgpi.com](mailto:ttp@ivgpi.com)

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

**№ 6 (402)  
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.), A.P. 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 (dens., France), GERŠAK JELKA (dens., Sloveniya), UDVAL LODOI (dens., 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. BALKHIN (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*

---

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796. Passed for typesetting on 01.12.2022. Signed for printing on 29.12.2022. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 27.9 conventional sheets. 28.15 conventional. Order 5062.

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: presssto@mail.ru



УДК 332.14:378(476)

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_5

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ УНИВЕРСИТЕТЫ В КЛАСТЕРНО-СЕТЕВОМ ПАРТНЕРСТВЕ: ОЦЕНКА И РАЗВИТИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ\***

**REGIONAL UNIVERSITIES IN CLUSTER-NETWORK PARTNERSHIP: EVALUATION AND DEVELOPMENT OF INTERACTION**

*Г.А. ЯШЕВА, Ю.Г. ВАЙЛУНОВА, Е.Ю. ВАРДОМАЦКАЯ*

*G.A. YASHEVA, YU.G. VAILUNOVA, E.YU. VARDOMATSKAYA*

*(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)*

*(Vitebsk State University of Technology, Republic of Belarus)*

*E-mail: gala-ya@list.ru; Yulia\_KG@tut.by; el\_v@tut.by*

*Кластеры являются инструментом повышения инновационности и конкурентоспособности экономик. Создание инновационных кластеров определено в ряде государственных программ Республики Беларусь. Вместе с тем, процессы кластеризации идут медленно. Значимую роль в создании кластеров выполняют университеты, так как являются интеллектуальным ядром, предоставляющим знания и инновации. Университеты являются одним из основных участников для формирования кластерно-сетевой инфраструктуры.*

*Цель исследования: раскрыть потенциал кластерного подхода к организационной структуре взаимодействия университетов – бизнеса – государства как инновационной форме их интеграции. Обоснована роль предпринимательских университетов в кластерно-сетевом партнерстве. Проведен анализ научного и образовательного потенциала УО "Витебский государственный технологический университет" для потенциального кластера по выращиванию и переработке льна в Витебском регионе Республики Беларусь. Основой для анализа послужили материалы Министерства экономики Республики Беларусь, отчетные данные УО "Витебский государственный технологический университет". Использованы следующие общенаучные методы: познание, анализ и синтез, сравнительный анализ, метод аналогии и*

---

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)", которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).

*другие. На основе проведенного анализа обоснованы направления развития взаимодействия УО "Витебский государственный технологический университет" со стейкхолдерами потенциального кластера по выращиванию и переработке льна: создание на базе УО "Витебский государственный технологический университет" цифровой платформы; создание совместной инновационной инфраструктуры (Центр трансфера технологий; Отраслевая лаборатория; Инжиниринговый центр); развитие взаимодействия УО "Витебский государственный технологический университет" и субъектов кластера в образовании (создание научно-образовательных кластеров, совместная разработка отдельных модулей, программ-практик под требования работодателя, целевая подготовка студентов на основе кластерного образовательного заказа); организация межкластерного сотрудничества.*

*Сделан вывод, что в результате создания кластера по выращиванию и переработке льна в Витебском регионе Республики Беларусь экономический эффект получают все участники. Стейкхолдеры – повышение эффективности производства и конкурентоспособности за счет ускорения инноваций и синергетического эффекта от сотрудничества. УО "Витебский государственный технологический университет", во-первых, получит возможность готовить специалистов для кластера на коммерческой основе по согласованным программам; во-вторых, увеличится количество хозяйственных договоров с РУПТП "Оршанский льнокомбинат", в-третьих, коммерциализация научных разработок за счет межкластерного сотрудничества и создания совместной инновационной инфраструктуры.*

*Clusters are a tool to increase innovation and competitiveness of economies. The creation of innovative clusters is defined in a number of state programs of the Republic of Belarus. At the same time, clustering processes are proceeding slowly. Universities play a significant role in creating clusters, as they are the intellectual core that provides knowledge and innovation. Universities are one of the main participants in the formation of a cluster network infrastructure.*

*The purpose of the study: to reveal the potential of the cluster approach to the organizational structure of interaction between universities - business - the state as an innovative form of their integration. The role of entrepreneurial universities in the cluster-network partnership is substantiated. An analysis of the scientific and educational potential of the Vitebsk State Technological University for a potential cluster for the cultivation and processing of flax in the Vitebsk region of the Republic of Belarus was carried out. The basis for the analysis was the materials of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus, the reporting data of the Vitebsk State Technological University. The following general scientific methods were used: cognition, analysis and synthesis, comparative analysis, analogy method and others. On the basis of the analysis carried out, directions for the development of interaction between the Vitebsk State Technological University and the stakeholders of a potential cluster for growing and processing flax are substantiated. The directions of development of interaction between the Vitebsk State Technological University and the stakeholders of a potential cluster for growing and processing flax are substantiated: creation of a digital platform on the basis of the Vitebsk State Technological University; creation of a joint innovation infrastructure (Technology Transfer Center; Industry Laboratory; Engineering Center); development of interaction between Vitebsk State Technological University and subjects of the cluster in education (creation of scientific and educational clusters, joint development of individual modules,*

*practice programs for the requirements of the employer, targeted training of students on the basis of a cluster educational order); organization of intercluster cooperation.*

*It is concluded that as a result of the creation of a cluster for the cultivation and processing of flax in the Vitebsk region of the Republic of Belarus, all participants will receive an economic effect. Stakeholders will benefit from improved production efficiency and competitiveness through accelerated innovation and synergies from collaboration. Vitebsk State Technological University, firstly, will have the opportunity to train specialists for the cluster on a commercial basis according to agreed programs; secondly, the number of business contracts with the Orsha Linen Mill will increase; thirdly, the commercialization of scientific developments through inter-cluster cooperation and the creation of a joint innovation infrastructure.*

**Ключевые слова:** бизнес, кластер, кластерно-сетевое партнерство, кластерные связи, региональный университет, сетевое сотрудничество, межкластерное сотрудничество, модель "тройной спирали".

**Keywords:** business, cluster, cluster-network partnership, cluster connections, regional university, network cooperation, inter-cluster cooperation, "triple helix" model.

Стратегическими приоритетами Республики Беларусь, определенными в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года, являются: качественное воспроизводство человеческого потенциала и эффективное его использование; ускоренное развитие высокотехнологичных производств и услуг; совершенствование институциональной среды и формирование благоприятной бизнес-среды; рост экспортного потенциала [1]. Решение этих задач требует создания системы четкого взаимодействия государства, бизнеса и науки на основе использования эффективных институтов и технологий инновационного развития, среди которых важное место принадлежит кластерному подходу. Предпосылки разработки и реализации кластерной политики заложены в Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [2], в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы [3], в Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы [4], Государственной программе "Малое и среднее предпринимательство" на 2021-2025 годы [5].

Одним из значимых принципов создания кластеров является наличие университета как интеллектуального ядра, производящего знания и инновации. Университеты играют ведущую роль в становлении кластерно-сетевой инфраструктуры. Региональные университеты становятся партнерами, продвигающими сотрудничество между кластерами.

Цель исследования: раскрыть потенциал кластерного подхода к организационной структуре взаимодействия университетов – бизнеса – государства как инновационной форме их интеграции.

Исходя из цели исследования, сформулированы следующие задачи:

– исследовать роль предпринимательских университетов в кластерно-сетевом партнерстве;

– проанализировать научный и образовательный потенциал УО "Витебский государственный технологический университет" для потенциального кластера по выращиванию и переработке льна;

– обосновать направления развития взаимодействия УО "Витебский государственный технологический университет" со стейкхолдерами потенциального кластера по выращиванию и переработке льна.

Материалами исследований послужили научные труды ученых: вопросы сотрудничества университетов в модели тройной спирали рассматривали ученые Г. Ицковиц, Л. Лейдесдорф, Дж. Ропке, И.Ю. Пахомова, Э.А. Малышев, Ф. Мейер-Крамер, У. Шмох, А.А. Лабунская, Г.Н. Константинов, С.Р. Филонович, М. Гулбрандсен, М. Фишер, Т. Тьон, Д. Шартингер, К.Раммер, Дж. Фрелих, Т. Тун, М. Гулбрандсен и другие.

Методология кластеров представлена в трудах зарубежных ученых М. Бест, М. Портер, М. Энрайт, Х. Шмиц, С. Розенфельд и др., белорусских ученых Д. М. Крупский, А.В. Марков, В.В. Валетко, Н.Г. Синяк, С.Ф. Пятинкин и другие. Основой для анализа послужили материалы Министерства экономики Республики Беларусь, отчетные данные УО "Витебский государственный технологический университет".

Использованы следующие общенаучные методы: познание, анализ и синтез, сравнительный анализ, метод аналогии и другие.

*Роль предпринимательских университетов в кластерно-сетевом партнерстве*

Методологической основой потенциала региональных университетов в кластерно-сетевом партнерстве является модель "тройной спирали" Triple Helix [6]. "Тройная спираль" символизирует союз между властью, бизнесом и университетом, которые являются ключевыми элементами инновационной системы любой страны. Модель "тройной спирали" показывает включение во взаимодействие определенных институтов на каждом этапе создания инновационного продукта. На начальном этапе генерации знаний взаимодействуют власть и университет, затем в ходе трансфера технологий университет сотрудничает с бизнесом, а на рынок результат выводится совместно властью и бизнесом (рис.1 – сбалансированная модель "тройной спирали") [6].

Основным отличием модели "тройной спирали" от существующей модели организации инновационной деятельности в регионе является доминирующая роль университетов. Основная роль академических исследований заключается в создании фундаментальных и прикладных инноваций, в то время как основная роль университетов за-

ключается в обеспечении образования. Совмещение функций исследовательской организации и поставщика образовательных услуг повышает значимость университетов в инновационном процессе [7].

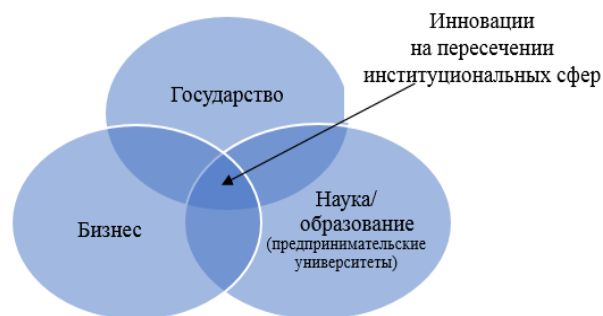


Рис. 1

Исследовательские университеты создают новые компании, внедряющие инновации, и создают институциональные условия для активизации инновационной деятельности и эффективного развития национальных инновационных систем (спин-офф компании, стартапы, отраслевые инкубаторы, технопарки, технополисы и др.). Университеты ориентированы на практическое внедрение инноваций и активно участвуют в трансфере технологий в промышленность [8].

Отношения между университетом и промышленностью выстраиваются по-новому. Промышленность становится заказчиком инноваций и обеспечивает основное финансирование исследований и разработок.

Изменение роли университетов в модели "тройной спирали" привело к появлению концепции "предпринимательского университета". Термин "предпринимательский университет" впервые был использован Ицковицем Г., который рассматривал университет как эффективный инструмент для стимулирования инноваций [9]. По словам Кларка, "...главной чертой предпринимательского университета является его готовность коммерциализировать знания" [10]. Предпринимательская деятельность в вузе должна носить системообразующий характер и охватывать его исследовательское и образовательное направления. В этом случае предпринимательство должно

стать ценным для преподавателей и студентов вузов, которые должны активно участвовать в реализации различных коммерческих проектов [11].

Таким образом, реализация модели "тройной спирали" в регионах меняет роль

университета [12]. По своей сути университет должен стать предпринимательским университетом (табл.1 – сравнение традиционных и предпринимательских функций университета) [13].

Т а б л и ц а 1

Роли	Традиционный университет	Предпринимательский университет
Основная деятельность	Основной вид – образовательная деятельность, вспомогательный вид – научная деятельность	Сочетание трех видов деятельности – образовательной, научной и предпринимательской
Источники финансирования	Бюджетное финансирование	Бюджетное финансирование, доход от производственной деятельности
Участие в инновациях	Опосредованный	Наличие центра инноваций, главный объект модели "тройной спирали"
В отношениях с производством	Слабый уровень	Высокий уровень
В отношениях с правительством	Работает по государственному плану	Правительство – партнер в области инноваций

Методология кластеров также базируется на модели "тройной спирали". Стейкхолдерами кластеров являются субъекты бизнеса, научно-исследовательские и образовательные центры, органы государственного управления.

Роль предпринимательских университетов в кластерно-сетевом партнерстве определяется расширением традиционных функций университета разными параметрами: интеллектуальными, экономическими, социальными, инновационными и др. Традиционная образовательная функция университетов расширена той ролью, которую университеты играют в процессе увеличения человеческого капитала, осуществляющегося через подготовку компетентных специалистов. Экономическая роль университетов на региональном уровне зачастую сопоставима с масштабами бюджета региона и экономической выгодой, которую получит университет и его партнеры в результате совместной деятельности. Статусная инновационная роль университета в системе кластерно-сетевого взаимодействия определена тем, что университеты генерируют "spillovereffect" (побочный/сопутствующий эффект) посредством создания стартапов и технологий, применяемых в инновационной деятельности. Результатом партнерских отношений

выступает трансфер технологических и интеллектуальных ресурсов университетов, промышленности, предпринимательского сектора [14].

Региональное пространство состоит из совокупности государственных организаций, промышленных предприятий и научных учреждений (исследовательских университетов), которые работают вместе, чтобы улучшить условия для инноваций, и образуют региональную "тройную спираль". Эти три ключевых элемента в региональном пространстве играют свои особые роли в процессе создания кластеров в регионе. Университеты проявляют инициативу в создании инноваций и их коммерциализации.

Исследовательские университеты занимаются образованием и научными исследованиями, но также вносят свой вклад в развитие экономики, что всегда считалось прерогативой бизнеса. Это происходит через создание новых компаний в университетских инкубаторах. Аналогично бизнес совершенствует свои образовательные структуры и частично выполняет функции университетов, оказывая образовательные услуги. Традиционная роль государства – установление норм и правил игры, а также регулирование жизни нашего общества. Теперь же государство создает фонды для

обеспечения финансированием нового бизнеса, начиная таким образом выполнять функции самого бизнеса.

Таким образом, модель "тройной спирали" предполагает, что именно университеты становятся центрами, генерирующими технологии и новые формы предпринимательства, оставляя за собой, естественно, и научные исследования, а также показывает включение во взаимодействие определенных институтов на каждом этапе создания инновационного продукта.

*Анализ научного и образовательного потенциала УО "Витебский государственный технологический университет"*

В Республике Беларусь на сегодняшний день насчитывается 8 действующих кластеров, 6 формирующихся и 18 потенциальных кластеров [15]. В число потенциальных кластеров входит и кластер по выращиванию и переработке льна. Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы УО "Витебский государственный технологический университет" включен в состав кластера по выращиванию и переработке льна, наряду с РУПТП "Оршанский льнокомбинат", РУП "Институт льна". Это ставит задачу исследования взаимодействия и направлений развития сотрудничества в рамках кластера.

В настоящее время ряд кафедр Витебского государственного технологического университета выполняют научные разработки для субъектов хозяйствования в области текстильного производства. Наиболее значимыми являются:

- разработка творческой коллекции одежды из льняных тканей "Ассортиментная" (кафедра дизайна и моды);
- "Биотехнология подготовки целлюлозосодержащих текстильных материалов к крашению (технология расшлихтовки, отварки, беления хлопчатобумажных и льняных текстильных материалов)" (кафедра экологии и химических технологий);
- "Биотехнология умягчения" (кафедра экологии и химических технологий);
- "Технология формирования композиционных текстильных материалов для

отделки обуви и спецодежды" (кафедра экологии и химических технологий);

– "Технологический процесс производства пряжи с вложением стальных волокон для изготовления антистатических тканей" (кафедра технологии текстильных материалов);

– "Технологический процесс производства нановолокнистых материалов для медицины и косметологии" (кафедра технологии текстильных материалов).

Научно-технологический и образовательный потенциал УО "Витебский государственный технологический университет" для кластера по выращиванию и переработке льна характеризуется следующим:

- 35000 специалистов с высшим образованием подготовил вуз за все время существования;
- 20 направлений подготовки на I ступени высшего образования;
- 8 направлений подготовки на II ступени высшего образования (магистратура);
- 6 специальностей по подготовке научных сотрудников высшей квалификации в аспирантуре;
- 9 научно-педагогических школ в УО "Витебский государственный технологический университет", где ведутся научные исследования;
- 1-2 количество научных разработок УО "Витебский государственный технологический университет" для кластера в год;
- реализация модели "Университет 3.0", развитие инновационной деятельности УО "Витебский государственный технологический университет".

Анализ обеспеченности инновационной инфраструктурой в УО "Витебский государственный технологический университет" для кластера по выращиванию и переработке льна показал, что в университете присутствуют: Центр карьеры, испытательный центр, Центр коллективного пользования научным оборудованием. Непосредственно инфраструктуры для текстильной отрасли и для кластера льна в университете не имеется.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– научно-технологический и образовательный потенциал УО "Витебский государственный технологический университет" – высокий;

– слабые связи и сотрудничество УО "Витебский государственный технологический университет" с участниками кластера по выращиванию и переработке льна;

– недостаточно развита инновационная инфраструктура в кластере;

– слабая коммерциализация разработок университета.

В университете проводятся исследования в области методологии кластеров в рамках НИРГПНИ "Теоретико-методологические основы неокластеризации экономики и разработка механизмов smart-кооперации стейкхолдеров в контексте Индустрии 4.0, направленных на обеспечение экономической безопасности Республики Беларусь 2021-2025 гг.", под научным руководством д.э.н., профессора Яшевой Г.А., в результате которых обоснован методический подход к типологизации кластеров по

уровню развития кластерных отношений, что позволяет относить кластеры к потенциальным, действующим и формирующимся. Сегодня в Беларуси насчитывается восемь действующих кластеров и шесть формирующихся [15]. Потенциальные кластеры – это восемнадцать групп субъектов хозяйствования, которые могли бы стать локомотивами экономического развития на своих территориях. Задача кластерной политики – увеличить количество действующих кластеров. Кластер по выращиванию и переработке льна является потенциальным. Результатом исследований [16] стала разработанная структурная схема потенциального кластера льна, состав его участников, анализ кластерных связей, в том числе анализ сотрудничества между РУПТП "Оршанский льнокомбинат" и УО "Витебский государственный технологический университет" (рис. 2 – потенциальный кластер по выращиванию и переработке льна в Витебском регионе).

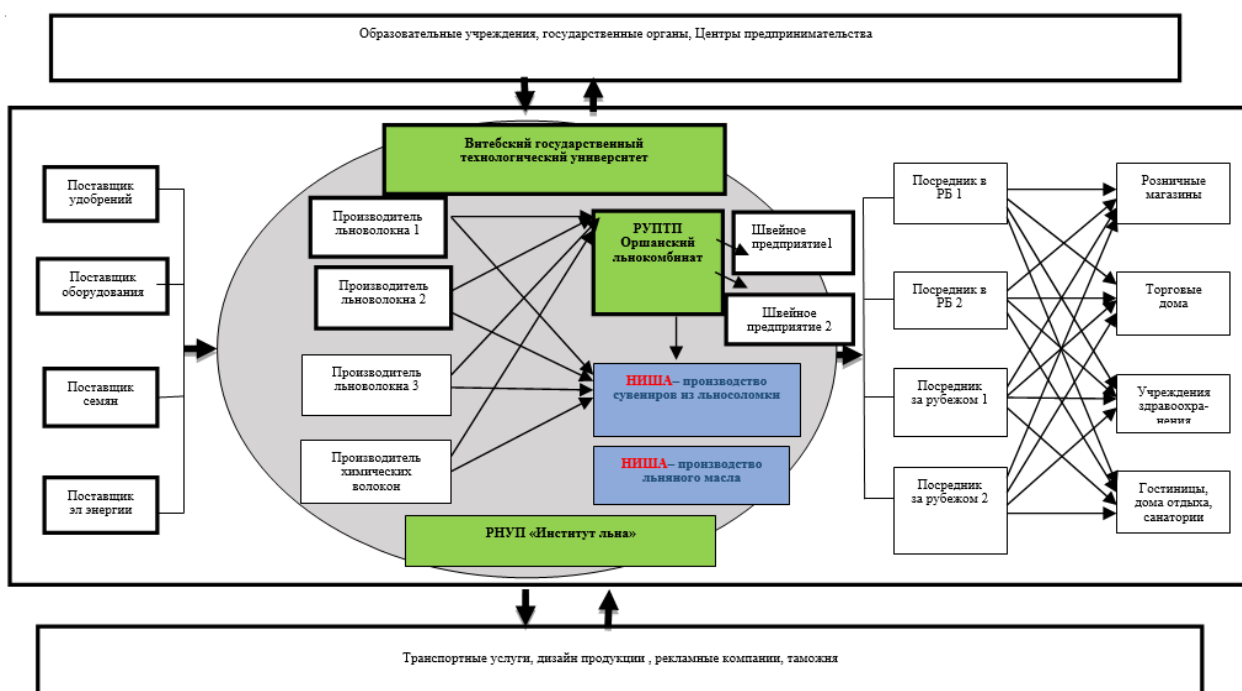


Рис. 2

Анализ связей в кластере по выращиванию и переработке льна представлен на рис. 3.

Результаты свидетельствуют о том, что кластер по выращиванию и переработке льна является потенциальным. Отмечаются



слабые связи и сотрудничество УО "Витебский государственный технологический университет" с участниками кластера (в основном, с льнозаводами), не развита инновационная инфраструктура в кластере, отсутствуют инициативные группы по созданию кластера.

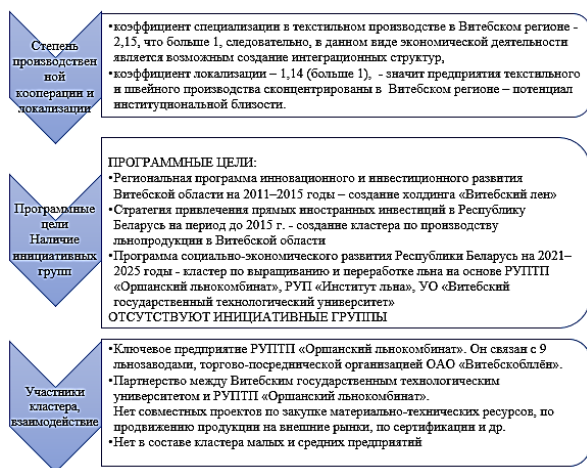


Рис. 3

*Направления развития взаимодействия УО "Витебский государственный технологический университет" со стейкхолдерами потенциального кластера по выращиванию и переработке льна*

В целях развития взаимодействия УО "Витебский государственный технологический университет" со стейкхолдерами потенциального кластера по выращиванию и переработке льна предлагаются следующие направления.

1 Направление – создание на базе УО "Витебский государственный технологический университет" цифровой платформы [17]. Архитектура цифровой платформы будет включать следующие разделы:

- стейкхолдеры кластера (юридический адрес, контакты, ФИО директора, вид экономической деятельности);
- законодательство (нормативная база в области кластеризации);
- положительные кейсы;
- контакты органов государственного управления;
- научные исследования в области кластеров;
- открытые площадки для регистрации новых участников.

Функции цифровой платформы следующие:

- взаимодействие с внутренними (в кластере) партнерами;
- взаимодействие с внешними партнерами;
- координация участия в кластерных проектах;
- закрытая сеть профессионалов;
- календарь событий;
- платформа для обеспечения проектной и кооперационной деятельности;
- поиск кадров;
- проведение экспертных опросов;
- координация образовательной деятельности;
- координация научно-исследовательской деятельности.

2 Направление – создание совместной инновационной инфраструктуры (УО "Витебский государственный технологический университет" и участники кластера), реализуется за счет совместных инвестиций участников кластера в создание следующих субъектов инновационной инфраструктуры.

- Центр трансфера технологий (функции: оценка и защита объектов интеллектуальной собственности; совместное продвижение информации об инновационных разработках, имеющих коммерческий потенциал; обеспечение координации и согласованности действий всех участников инновационного процесса; оказание информационных, финансовых, маркетинговых и иных консалтинговых услуг разработчикам и потенциальным покупателям интеллектуальной собственности для упрощения процедуры коммерциализации технологий; привлечение заказов на исследования из государственного и коммерческого сектора экономики, как из национальных, так и зарубежных компаний; активизация инновационной деятельности; развитие партнерских отношений между стейкхолдерами кластера, в том числе учреждениями образования, занимающимися инновационными разработками).

- Отраслевая лаборатория (функции: консультационные услуги предоставляе-



мые учреждением образования стейкхолдерам кластера; повышение эффективности и результативности выполняемых УО "Витебский государственный технологический университет" научно-исследовательских работ и внедрения их результатов в деятельность стейкхолдеров кластера; повышение качества подготовки кадров по специальностям, по которым осуществляется подготовка специалистов, для нужд стейкхолдеров кластера; усиление практико-ориентированной направленности и развитие интегрированной системы подготовки кадров путем внедрения в образовательный процесс разработанных в рамках деятельности отраслевой лаборатории инновационных методик и технологий).

– Инжиниринговый центр (виртуальный) (функции: предоставление образовательных услуг, подготовка специалистов и повышение педагогических и научных кадров в сфере инжиниринга; коммерциализация существующих разработок университета; выполнение конкретных работ и прикладных задач, поставленных стейкхолдерами кластера университетом; обеспечение реализации НИР/НИОКР по направлениям деятельности центра; выявление наиболее перспективных инновационных разработок и технологий университета для дальнейшего их продвижения, с созданием базы данных; проведение рекламных и маркетинговых мероприятий по привлечению к сотрудничеству участников кластера; поиск потенциальных потребителей инновационной продукции и разработок университета с применением системы трансфера технологий; поиск партнеров по трансферу технологий научно-технической продукции; подбор перспективных научных разработок малых инновационных предприятий, оказание помощи в выполнении проектных, технологических, внедренческих работ для получения наукоемкого продукта соответствующего требованиям рынка научно-технической продукции).

Это направление позволит создать условия для активизации инновационной деятельности, повышения качества продукта ключевых производителей кластера; ускорения коммерциализации научных разрабо-

ток университета для кластера льна. В результате экономический эффект получат все участники: РУПТП "Оршанский льнокомбинат" – рост прибыли и рентабельности; УО "Витебский государственный технологический университет" – рост объема НИР внебюджетного финансирования, апробацию научных идей и увеличение защит диссертаций.

3 Направление – взаимодействие УО "Витебский государственный технологический университет" и субъектов кластера в образовании.

– Создание научно-образовательных кластеров. В рамках научно-образовательных кластеров реализуется сотрудничество учреждений образования различных типов, субъектов бизнеса между собой и с координирующим центром (УО "Витебский государственный технологический университет") с учетом специфики вертикальных и горизонтальных связей. Вертикальные связи предусматривают осуществление учебно-научно-инновационной деятельности на всех уровнях и ступенях подготовки работников: в учреждениях общего среднего, среднего специального, высшего и дополнительного образования взрослых. Совершенствованию содержания и организационных форм взаимодействия в рамках вертикальных связей способствуют создание филиалов кафедр, открытие на базе учреждений образования экспериментальных и инновационных площадок, деятельность студенческих научно-исследовательских лабораторий, создание профильных классов и др.

– Совместная разработка отдельных модулей, программ практик под требования работодателя. Между РУПТП "Оршанский льнокомбинат" и УО "Витебский государственный технологический университет" заключен договор взаимодействия, согласно которому осуществляются практики, стажировки, трудоустройство, совместные профориентационные мероприятия [18].

Вместе с этим, новые потребности и тренды развития ставят новые задачи перед сферой образования: усиливать мобильность, гибкость образования. Предлагается

совместно разрабатывать отдельные модули, программы практик под требования работодателя, под конкретное рабочее место (целевая подготовка, дуальное обучение) [19].

– Открытие совместной бизнес-школы дистанционного обучения для субъектов кластера.

– Совместная программа подготовки участников WorldSkills-2023 – выпускника УО "Витебский государственный технологический университет".

– Целевая подготовка студентов в УО "Витебский государственный технологический университет" на основе кластерного образовательного заказа. Непосредственно для кластера по выращиванию и переработке льна предлагается следующий алгоритм подготовки студентов.

1. Оформить договоры целевой подготовки требуемых кадров (УО "Витебский государственный технологический университет" и РУПТП "Оршанский льнокомбинат").

2. Заключить договор между РУПТП "Оршанский льнокомбинат" и абитуриентом на целевую подготовку.

3. Заключить договор между УО "Витебский государственный технологический университет" и абитуриентом на целевую подготовку.

Согласно договору РУПТП "Оршанский льнокомбинат" будет оплачивать учебу абитуриента, который после окончания должен отработать на комбинате минимум 10 лет.

Благодаря сотрудничеству, партнерству, взаимному доверию и коммуникациям стейкхолдеров кластера с образовательными учреждениями будут открываться новые востребованные специальности, разрабатываться учебные планы и образовательные программы, а также практическая подготовка и распределение молодых специалистов на рабочие места.

Организованное таким образом взаимодействие вуза и стейкхолдеров кластера позволяет создать практико-ориентированную образовательную среду, которая повышает конкурентоспособность всех субъек-

тов кластера; обеспечивает подготовку высококвалифицированных специалистов в оптимальные сроки; дает возможность выстраивать индивидуальные образовательные траектории профессиональной самореализации.

4 Направление – организация межкластерного сотрудничества.

В г. Витебске (Республика Беларусь) создан и успешно функционирует действующий фармацевтический кластер / медико-фармацевтическая промышленность. Базовая организация: Союз юридических лиц "Медицина и Фармацевтика – инновационные проекты"; участники: УО "Витебский государственный медицинский университет", УО "Витебский государственный университет им. П.М.Машерова", СООО "НАТИВИТА", ООО "Производственно-торговое предприятие "ВитВар", ГП "Витебский областной центр маркетинга", Инкубатор малого предпринимательства ООО Правовая группа "Закон и порядок", НП "Союз Фармацевтических и Биомедицинских кластеров" (Российская Федерация) [15].

Рекомендуемая схема взаимодействия кластеров представлена на рис. 4.

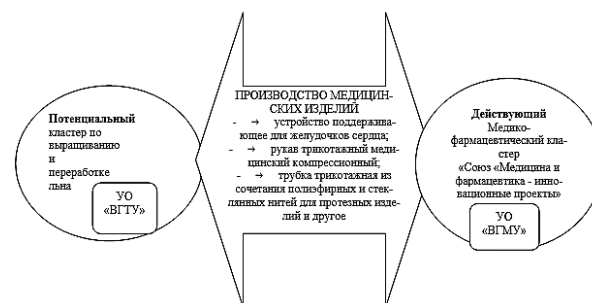


Рис. 4

Направлениями межкластерного сотрудничества могут быть:

- научные исследования в области производства медицинских изделий;
- коллективное использование оборудования;
- сертификация продукта;
- технические испытания;
- продвижение новых продуктов на рынки.

Экономический эффект межкластерного сотрудничества состоит для стейкхолдеров состоит в повышении имиджа, увеличении дохода, прибыли, потенциала стратегического развития.

## ВЫВОДЫ

В результате создания кластера по выращиванию и переработке льна экономический эффект получают все участники, а также экономика региона и страны. РУПТП "Оршанский льнокомбинат" – повышение эффективности производства и конкурентоспособности за счет ускорения инноваций и синергетического эффекта от сотрудничества. УО "Витебский государственный технологический университет", во-первых, получит возможность готовить специалистов для кластера на коммерческой основе по согласованным программам; во-вторых, увеличится количество хозяйственных договоров с РУПТП "Оршанский льнокомбинат", в-третьих, коммерциализация научных разработок за счет межкластерного сотрудничества и создания совместной инновационной инфраструктуры.

Практическое значение результатов кластерного исследования состоит в следующем: во-первых, они могут быть использованы субъектами хозяйствования различных форм собственности и отраслей экономики для организации инновационных кластеров; во-вторых, органами регионального управления для разработки стратегий и программ инновационного развития экономики региона на основе кластерного подхода; органами государственного управления для управления процессом кластеризации и для разработки стратегий инновационного развития экономики Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf> (Дата обращения 01.08.2022).

2. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2035-goda.pdf> (Дата обращения 02.08.2022).

3. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы : Указ Президента Республики Беларусь 29 июля 2021 г. № 292. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292> (Дата обращения 02.08.2022).

4. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь 15 сентября 2021 г. № 348. URL: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-348-ot-15-sentyabrya-2021-g> (Дата обращения 02.08.2022).

5. Государственная программа "Малое и среднее предпринимательство" на 2021-2025 годы : Постановление Совета Министров Республики Беларусь 29 января 2021 г. № 56. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/gos-progr-2021-2025/Postanovlenie-Soveta-Ministrov-Respubliki-Belarus-ot-29.01.2021-56-O-Gosudarstvennoj-programme-Maloe-i-srednee-predprinimatelstvo-na-2021-2025-gody.pdf> (Дата обращения 02.08.2022).

6. *Etzkowitz H.* The Triple Helix of University-Industry-Government Implications for Policy and Evaluation // Working paper. – 2002. № 11.

7. *Magro E., Wilson J.R.* Complex innovation policy systems: towards an evaluation mix // *Research Policy*. – 2013, № 42. P. 1647...1656.

8. *Colyvas J., Crow M., Gelijns A., Mazzoleni R., Nelson R.R., Rosenberg N., Sampat B.N.* How do university inventions get into practice? // *Management Science*. – 2002, № 1. P. 61...72.

9. *Etzkowitz H., Leydesdorff L.* The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations // *Research Policy*. – 2000, № 29. P. 109...123.

10. *Clark B.R.* Creating entrepreneurial universities: organizational pathways of transformation. –New York, IAU Press, 2001.

11. *Meyer-Krahmer F., Schmoch U.* Science-based technologies: university–industry interactions in four fields // *Research Policy*. – 1998. P. 835...851.

12. *Schartinger D., Rammer C., Fischer M.M., Fröhlich J.* Knowledge Interactions Between Universities And Industry In Austria: Sectoral Patterns And Determinants // *Research Policy*. – 2002. P. 303...328.

13. *Пахомова И.Ю.* Модель "тройной спирали" как механизм инновационного развития региона // *Научные ведомости. Серия История. Политология. Экономика. Информатика*. – 2012, № 120. Выпуск 21/1. С. 50...55.

14. *Брылина И.В.* Роль региональных университетов в кластерно-сетевом партнерстве // *Профессиональное образование в современном мире*. ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ. – 2018. Т.8, №4. С.2212...2223.

15. Карта кластеров Республики Беларусь – Министерство экономики Республики Беларусь. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/Karta-Klasterov/Karta-klasterov-2022.pdf> (Дата обращения 02.08.2022).

16. Яшева Г.А. Кластерная концепция повышения конкурентоспособности предприятий в контексте сетевого сотрудничества и государственно-частного партнерства. – Витебск: УО "ВГТУ". – 2010.

17. Ситкевич Д.А. Кластеры как инструмент сохранения конкурентоспособности текстильной отрасли: опыт Италии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 4. С. 13...20.

18. Погодина И.В., Авдеев Д.А., Аверин А.В., Опарина Л.А. Esg-трансформация текстильной промышленности: постановка проблемы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 3. С. 32...38.

19. Симонин П.В., Капустина Н.В., Костромин Е.А., Косолапов Ю.В. Влияние человеческих ресурсов на развитие текстильно-промышленного кластера в условиях Индустрии 4.0 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 2. С. 64...69.

## REFERENCES

1. National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the period up to 2030. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf> (Accessed 01.08.2022).

2. National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2035-goda.pdf> (Accessed 02.08.2022).

3. Program of socio-economic development of the Republic of Belarus for 2021-2025: Decree of the President of the Republic of Belarus on July 29 2021 № 292. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292> (Accessed 02.08.2022).

4. State program of innovative development of the Republic of Belarus for 2021-2025 : Decree of the President of the Republic of Belarus on September 15 2021 № 348. URL: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-348-ot-15-sentyabrya-2021-g> (Accessed 02.08.2022).

5. State program "Small and medium-sized businesses" for 2021-2025: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on January 29 2021 № 56. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/gos-progr-2021-2025/Postanovlenie-Soveta-Ministrov-Respubliki-Belarus-ot-29.01.2021-56-O-Gosudarstvennoj-programme-Maloe-i-srednee-predprinimatelstvo-na-2021-2025-gody.pdf> (Accessed 02.08.2022).

6. Etzkowitz H. The Triple Helix of University-Industry-Government Implications for Policy and Evalua-

tion // Working paper. – 2002. – № 11.

7. Magro E., Wilson J.R. Complex innovation policy systems: towards an evaluation mix // Research Policy. – 2013, № 42. P. 1647...1656.

8. Colyvas J., Crow M., Gelijns A., Mazzoleni R., Nelson R.R., Rosenberg N., Sampat B.N. How do university inventions get into practice? // Management Science. – 2002, № 1. P. 61...72.

9. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations // Research Policy. – 2000. № 29. PP. 109...123.

10. Clark B.R. Creating entrepreneurial universities: organizational pathways of transformation. –New York, IAU Press, 2001.

11. Meyer-Krahmer F., Schmoch U. Science-based technologies: university-industry interactions in four fields // Research Policy. – 1998. P. 835...851.

12. Scharfetter D., Rammer C., Fischer M.M., Fröhlich J. Knowledge Interactions Between Universities And Industry In Austria: Sectoral Patterns And Determinants // Research Policy. – 2002. P. 303...328.

13. Pakhomova I.Y. The Triple Helix Model as a Mechanism for Innovative Development of the Region // Scientific Vedomosti. Series History. Political science. Economy. Informatics. – 2012, № 120, Issue 21/1. P. 50...55.

14. Brylina I.V. The role of regional universities in cluster-network partnership // Professional education in the modern world. Novosibirsk State Agrarian University. – 2018, V. 8, №. 4. P. 2212...2223.

15. Map of clusters of the Republic of Belarus - Ministry of Economy of the Republic of Belarus. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/Karta-Klasterov/Karta-klasterov-2022.pdf> (Accessed 02.08.2022).

16. Yasheva G.A. Cluster concept of increasing the competitiveness of enterprises in the context of network cooperation and public-private partnership. – Vitebsk: VGTU. – 2010, 373 p.

17. Sitkevich D.A. Clusters as a tool for keeping the competitiveness of the textile industry: Italy practice // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022 – № 4 (400). – Pp. 13–20.

18. Pogodina I.V., Avdееv D.A., Aверin A.V., Oпарина L.A. Esg-transformation of the textile industry: statement of the problem // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022 – № 3 (399). – Pp. 32–38.

19. Simonin P.V., Kapustina N.V., Kostromina E.A., Kosolapov Yu.V. The impact of human resources on the development of a textile and industrial cluster in the context of industry 4.0 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022 – № 2 (398). – Pp. 64–69.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22.

**КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПЕРСОНАЛА  
В ЛЕГКОЙ И ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ \***

**COMPETITIVENESS OF STAFF IN TEXTILE AND LIGHT  
INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS  
IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY**

*Е.А. АЛЕКСЕЕВА*

*E.A. ALEKSEYEVA*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State University of Technology, Republic of Belarus)

E-mail: alekseeva@vstu.by

*В статье проведена оценка конкурентоспособности персонала в легкой и текстильной промышленности Республики Беларусь. Выделены теоретические подходы к оценке конкурентоспособности персонала (компетентностный, с точки зрения трудового потенциала и с точки зрения полезности для организации). Выявлены направления влияния цифровизации на развитие отрасли, которая рассматривается как источник отраслевого роста прибыли и производительности труда. Определены отраслевые тренды, которые оказывают влияние на конкурентоспособность персонала в отрасли. Выявлены отраслевые угрозы и факторы, негативно влияющие на конкурентоспособность персонала на отраслевом уровне; разработаны рекомендации по их преодолению для повышения конкурентоспособности персонала и отрасли в целом.*

*The article assesses the competitiveness of staff in textile and light industry of the Republic of Belarus. Theoretical approaches to the competitiveness of staff assessment (competence-based, from the point of labor potential view and from the point of labour performance view) are singled out. The directions of the digitalization influence on the development of the industry, which is considered as a source of industry-wide growth in profits and labor productivity, are identified. Industry trends that have an impact on the competitiveness of staff on the industry level have been identified. Industry threats and factors that negatively affect the competitiveness of staff at the industry level have been identified. Recommendations for overcoming them in order to increase the competitiveness of staff and the industry as a whole have been developed.*

**Ключевые слова:** конкурентоспособность персонала, компетенции персонала, результативность труда, цифровые навыки.

---

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)", которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в Учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).

**Keywords: competitiveness of staff, personnel competencies, labor productivity, digital skills.**

Конкурентоспособность персонала становится ключевым фактором выживания организации в условиях турбулентной внешней среды и цифровизации экономики [1...3]. Легкая и текстильная промышленность характеризуются производством товаров интенсивного обновления и обладают высоким потенциалом создания и развития новых конкурентных преимуществ благодаря цифровой трансформации предприятий отрасли [4], [5].

*Оценка конкурентоспособности персонала: подходы, факторы, показатели.*

Конкурентоспособность персонала как экономическая категория появилась в результате развития теории человеческого капитала Г. Беккера его последователями и усиления акцента на персонал как источник конкурентных преимуществ организации. Конкурентоспособность персонала является сравнительной категорией и подразумевает наличие конкуренции, т.е. соперничества за какой-либо дефицит (вознаграждение, должность, рабочее место и т.д.). В экономической литературе можно встретить различные подходы к определению конкурентоспособности персонала:

- с точки зрения качеств (компетенций) отдельных работников [1], [6], [7];

- с точки зрения трудового потенциала [3], [8];

- с точки зрения полезности (результативности труда) для организации [2], [9].

Компетентностный подход увязывает качества и компетенции работника (профессионально-квалификационные, деловые, личные и мотивационные) с его конкурентоспособностью и предлагает проводить сравнительный анализ этих качеств для оценки конкурентных преимуществ работников по отношению друг к другу.

Авторы [6] предлагают также учитывать потребности отрасли в компетенциях и определять конкурентоспособность работника через призму соответствия его компетенций этим потребностям. Основным направлением усиления конкурентоспособности работника в рамках этого подхода

выступают обучение персонала, развитие и освоение новых компетенций.

Подход с точки зрения трудового потенциала увязывает конкурентоспособность работника с его человеческим капиталом как мерой воплощенной в человеке способности приносить доход [3]. Авторы [8] развивают этот подход и предлагают оценивать конкурентоспособность работника в его зоне ответственности с учетом кадровых приоритетов предприятия.

Подход, ориентированный на результативность, при оценке конкурентоспособности работников в качестве ключевых факторов рассматривает результаты их труда и соответствие стратегии организации [2], [9]. Автор [2] предлагает проводить оценку конкурентоспособности не только отдельных работников или их группы, но также учитывать и безработных граждан. С этой целью автор предлагает использовать инструментальные и экспертные методы оценки.

Ряд авторов склонны разделять оценку конкурентоспособности персонала на внутреннем и внешнем по отношению к предприятию рынках труда [2], [3]. При этом интересы работодателя в отношении повышения конкурентоспособности персонала на этих рынках могут быть противоположными.

Все авторы сходятся во мнении, что конкурентоспособность персонала оказывает существенное влияние на конкурентоспособность организаций и отрасли в целом.

Как отмечает автор [3], конкурентоспособность персонала может быть оценена как на индивидуальном уровне (для отдельных сотрудников), так и для группы людей (подразделения, персонала организации, профессионального сообщества и пр.).

Оценка конкурентоспособности может быть проведена и на отраслевом уровне. Такой подход может быть полезным при формировании кадровой политики на отраслевом уровне (отраслевыми органами управления), при оценке востребованности навы-

ков, а также спроса и предложения навыков на отраслевом рынке труда, при формировании отраслевой потребности в кадрах и заказа на подготовку специалистов отрасли.

При оценке конкурентоспособности персонала на отраслевом уровне необходимо учитывать такие факторы, как привлекательность отрасли для потенциальных работников и престижность профессии, спрос на отраслевые навыки и компетенции на рынке труда, темпы роста спроса на отраслевую продукцию, производительность труда в отрасли и др.

*Влияние цифровизации на конкурентные преимущества в легкой и текстильной промышленности*

Смена технологических укладов экономики (высокоразвитые страны, по оценкам специалистов, подошли шестому технологическому укладу) сопровождается полным проникновением интернета и искусственного интеллекта во все сферы экономики, т.е. переходе к цифровизации экономик всех стран, которая должна кардинально изменить весь мир, а не только высокоразвитые страны. Продуктом современности стала электронная экономика, в том числе веб-, интернет- и цифровая экономики, которые функционируют с помощью цифровых технологий и способны обеспечить рост добавленной стоимости и прибыли по всей цепочке создания стоимости [4]. Цифровизация экономики и промышленности, в свою очередь, изменяет структуру спроса на навыки и компетенции персонала [10], [11].

В текущей экономической ситуации текстильной и легкой промышленности нужны нестандартные решения и прорывные инновации, которые обеспечат потенциал роста прибыли в отрасли. От производителей отрасли требуется непрерывно развивать и модернизировать выпускаемую продукцию, создавать инновационные продукты, не просто заменяя импортные материалы на внутреннем рынке, но и опережая их по функциональным и иным свойствам, внедрять инновационные технологии и реализовывать идеи создания новых продуктов, в том числе и путем "диффузии инно-

ваций", т.е. приходящих из других индустрий и направлений науки. Инновационный тип развития легкой промышленности предполагает непрерывный и целенаправленный процесс поиска, подготовки и реализации нововведений с целью увеличения эффективности ее функционирования, большей степени реализации потребностей клиентов отрасли [6].

Существенным отличием легкой промышленности от других отраслей является доминирующее влияние моды, изменчивого потребительского спроса и постоянная смена модельного ряда и зачастую ассортимента. Актуальным для современного производства является сокращение времени выхода новых изделий на рынок при одновременном удовлетворении специфических потребностей потребителей. Кастомизация позволяет соединить преимущества механизированного и автоматизированного производства с гибкостью и мобильностью ателье.

В этих условиях самыми актуальными задачами для всех предприятий легкой и текстильной промышленности являются обеспечение интенсификации производства и снижения себестоимости кастомизированной продукции промышленного изготовления, которые могут быть решены при переходе к цифровой модели предприятия.

В маркетинге и продажах будущее также за индивидуализацией изделий под заказы конкретных потребителей. Продукция будет создаваться с учетом персональных запросов человека, изображение с монитора должно быть совместимо с программами для моделирования, а потому становится возможным дальнейшее воспроизведение рисунка при производстве текстильных изделий. Дизайнер может виртуально показать клиенту готовое изделие, а также внести изменения в рисунок при желании клиента.

Цифровизация производства открывает много возможностей в сфере производства текстиля и одежды из него. Все перечисленные технологии приводят к достижению стратегических бизнес-целей: росту эффективности, повышению конкурентоспособности, активному развитию на рынке. Од-

нако, чтобы производители стали более востребованы, "точечного" внедрения технологий на разных стадиях производства недостаточно – необходима комплексная цифровизация управленческих процессов.

Таким образом, цифровизация бизнес-процессов в легкой и текстильной промышленности может обеспечить создание и поддержание новых конкурентных преимуществ, создавая потенциал прибыли.

*Конкурентоспособность персонала в легкой и текстильной промышленности Республики Беларусь: оценка и вызовы*

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь (<https://www.belstat.gov.by/>), за последние два десятилетия в легкой и текстильной промышленности Республики Беларусь произошло сокращение объемов промышленного производства и доли отрасли в обрабатывающей промышленности почти в 3 раза. Данные, характеризующие место и роль текстильной промышленности в структуре промышленного производства, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели	Годы				
	2017	2018	2019	2020	2021
Количество организаций, шт.	1927	1933	1952	1941	1941
Темпы роста объема промышленного производства текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха, %	105,1	104,0	97,7	100,4	104,1
Удельный вес продукции в общем объеме промышленного производства, %	3,9	3,6	3,4	3,4	3,1
Среднесписочная численность работников, тыс. чел.	85,9	85,2	83,4	76,3	74,6
Удельный вес среднесписочной численности работников в среднесписочной численности работников промышленности, %	9,7	9,7	9,5	9,0	8,9
Отношение среднемесячной заработной платы работников к среднемесячной заработной плате работников промышленности, %	68,0	65,8	65,1	64,0	65,8

Как видно из таблицы, количество организаций отрасли за период 2017-2021 гг. практически не изменяется, то есть активного прихода в отрасль новых игроков не происходит, но и ухода организаций с рынка также не наблюдается. Это связано с невысоким, но стабильным потенциалом прибыли (уровень рентабельности продукции около 10%), а также стабильностью спроса на продукцию на рынке (как уже отмечалось, продукция отрасли относится к товарам интенсивного обновления, которые приобретаются гораздо чаще, чем происходит их физический износ, благодаря моде).

Удельный вес текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха в структуре промышленного производства за исследуемый период продолжает снижаться, что снижает привлекательность отрасли с

точки зрения предложения труда. Среднесписочная численность работников также снижается, в отрасли наблюдается отток кадров. Следует отметить также отставание отрасли по уровню производительности и оплаты труда примерно в 1,5 раза от среднего по обрабатывающей промышленности. Эти показатели свидетельствуют о снижении кадрового потенциала отрасли, что представляет серьезную угрозу перспективам ее дальнейшего развития.

Производство тканей и текстильных изделий лидирует в структуре отраслевой продукции, значительный удельный вес занимает также производство одежды (рис. 1-а).

Производство обуви, а также изделий из кожи и меха стремительно теряет свои позиции в отрасли, что объясняет общий отраслевой спад. Среди регионов, обеспечи-



вающих производство отраслевой продукции, традиционно лидируют Витебская, Брестская и Гродненская области (рис.1-б).

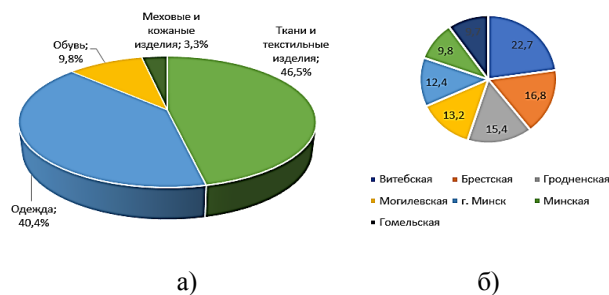


Рис. 1

Легкая и текстильная промышленность имеет ряд особенностей, оказывающих влияние на конкурентоспособность персонала отрасли:

- высокая доля ручного труда в швейной и кожевенно-обувной подотраслях;
- низкая производительности труда и добавленной стоимости по сравнению с другими отраслями промышленности;
- снижение престижа данного вида профессиональной деятельности;
- высокая текучесть кадров, особенно в категории рабочих профессий;
- более низкий уровень оплаты труда в отрасли, чем в среднем по промышленности и экономике;
- низкий уровень инвестиционных затрат на персонал [12] и, в частности, расходов на обучение.

При этом доля затрат на персонал в себестоимости отраслевой продукции составляет около одной трети, что превышает показатели других отраслей.

Исследователи [1] в рамках компетентного подхода отмечают существенные разрывы между ожидаемыми и фактическими навыками персонала легкой и текстильной промышленности в российском корпоративном сегменте (недостаток навыков) по цифровым и инновационным навыкам. Схожая ситуация наблюдается и в Республике Беларусь. В условиях дефицита рабочей силы и высокой текучести кадров предприятия вынуждены заполнять существующие вакансии претендентами, не вполне соответствующими требованиям рабочих мест. Это ослабляет конкуренто-

способность персонала отрасли и в совокупности с низким уровнем расходов на обучение представляет угрозу уже для отраслевой конкурентоспособности.

## ВЫВОДЫ

Существующие вызовы и угрозы требуют разработки и реализации активных мер кадровой политики в текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь для выхода из сложившегося кадрового кризиса [12]. Одним из приоритетных направлений кадрового развития необходимо выбрать формирование цифровых и инновационных навыков как наиболее востребованных и недостающих на отраслевом рынке труда. Для этого следует пересмотреть приоритеты финансирования отраслевых инвестиционных программ в пользу инвестиций в человеческий капитал и персонал, что позволит повысить его производительность, конкурентоспособность, а также создаст условия для преломления негативных отраслевых трендов и роста конкурентоспособности отрасли и ее продукции. Возможности для изменения сложившейся в отрасли кадровой ситуации заключены также в интеграции промышленных предприятий отрасли с научными и образовательными учреждениями, ориентированными на подготовку специалистов для отрасли и осуществляющих научные исследования и разработки для легкой и текстильной промышленности. Такая интеграция позволит укрепить кадровый потенциал отрасли через систему целевой подготовки, а также инновационный потенциал через трансфер технологий.

Реализация предложенных рекомендаций позволит повысить привлекательность отрасли в глазах работников, а также их конкурентоспособность, создаст предпосылки для отраслевого роста.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вашаломидзе Е.В., Пак О.А. Повышение конкурентоспособности работников в контексте развития профессиональной компетентности // Экономика, предпринимательство и право. – 2021. Т.11, № 12. С. 2943...2956.

2. Литвиненко М.С. Методический подход к оценке конкурентоспособности работников // Экономика труда. – 2021. Т. 8, № 4. С. 423...442.
3. Троицкая А.А. Конкурентоспособный человеческий капитал работника: проблемы формирования и реализации // Экономика труда. – 2019. Т. 6, №2. С. 647...658.
4. Симонин П.В., Капустина Н.В., Косромина Е.А., Косолапов Ю.В. Влияние человеческих ресурсов на развитие текстильно-промышленного кластера в условиях Индустрии 4.0 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 2. С.64...69.
5. Bayraktar Osman & Ataç Canan. (2018). The Effects of Industry 4.0 on Human Resources Management. P.340.
6. Юнусов М.Б., Есиркепова А.М., Маширова Т.Н. и др. Особенности формирования модели управления персоналом на предприятиях текстильной отрасли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 3. С. 36...43.
7. Шагалина Д. А., Бурдюгова О. В. Конкурентоспособность персонала организации: факторы влияния и инструменты управления // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2017. Т.39. С. 4146...4150.
8. Радько С.Г., Невмержицкая О.Н. Формирование оптимальной модели оценки конкурентоспособности кадрового состава, адаптированной к потребностям предприятия //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 1. С.59...63.
9. Wang H, Wang L, Liu C. Employee Competitive Attitude and Competitive Behavior Promote Job-Crafting and Performance: A Two-Component Dynamic Model. Front Psychol. – 2018 Nov 21;9:2223. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6258773/>.
10. Nick H.M. van Dam (2017). The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs. Access mode: <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-Jobs.pdf>
11. Scott Engler. Lack of Skills Threatens Digital Transformation 2020. Access mode: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/lack-of-skills-threatens-digital-transformation>.
12. Ванкевич Е. В., Алексеева Е. А., Коробова Е.Н., Дягилев А. С. Влияние управления человеческими ресурсами организации на эффективность ее деятельности: теоретические подходы и эмпирические оценки (на примере предприятий текстильной промышленности Республики Беларусь) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С. 19...26.

## REFERENCES

1. Vashalomidze E.V., Pak O.A. Improving the employees' competitiveness in the context of the professional competence // Economics, entrepreneurship and law. – 2021, Volume 11, № 12. P. 2943...2956.

2. Litvinenko M.S. Methodological approach to assessing employee competitiveness // Labour Economics. – 2021, Volume 8, № 4. P. 423...442.

3. Troitskaya A.A. Competitive human capital of the employee: problems of formation and implementation // Labour Economics. – 2019, Volume 6, № 2. P. 647...658.

4. Simonin P.V., Kapustina N.V., Kosromina E.A., Kosolapov U.V. The impact of human resources on the development of the textile and industrial cluster in the context of Industry 4.0 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, № 2. P. 64...69.

5. Bayraktar Osman & Ataç Canan. (2018). The Effects of Industry 4.0 on Human Resources Management. P.340.

6. Unusov M.B., Esirkepova A.M., Mashirova T.N., etc. Peculiarities of formation of a personnel management model in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 3. P. 36...43.

7. Shagalina D.A., Burdyugova O.V. Competitiveness of the organization's personnel: factors of influence and management tools // Scientific and methodical electronic journal "Concept". – 2017, V. 39. P.4146...4150.

8. Radko S.G., Nevmerzhitskaya O.N. Formation of an optimal model for assessing the staff competitiveness, adapted to the enterprise needs // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, № 1. P. 59...63.

9. Wang H, Wang L, Liu C. Employee Competitive Attitude and Competitive Behavior Promote Job-Crafting and Performance: A Two-Component Dynamic Model. Front Psychol. – 2018 Nov 21;9:2223. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6258773/>.

10. Nick H.M. van Dam (2017). The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs. Access mode: <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-Jobs.pdf>

11. Scott Engler. Lack of Skills Threatens Digital Transformation 2020. Access mode: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/lack-of-skills-threatens-digital-transformation>.

12. Vankevich E. V., Alekseeva E. A., Korobova E.N., Dyagilev A. S. The impact of the organization's human resources management on the efficiency of its activities: theoretical approaches and empirical evaluations (on the example of the textile industry enterprises of the Republic of Belarus) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 6. P. 19...26.

Рекомендована оргкомитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22.

**К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
ТОВАРНЫМИ ЗАПАСАМИ  
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИКИ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ПРОДАЖ**

**ON THE ISSUE OF THE EFFICIENCY OF INVENTORY  
MANAGEMENT BASED ON THE STATISTICS OF RETROSPECTIVE SALES**

*С.Б. ЛАПШИНОВ, Я.Э. ЖУКОВА,  
С.Н. СПЕРАНСКИЙ, Т. АМАРЖАРГАЛАН*

*S.B. LAPSHINOV, YA.E. ZHUKOVA,  
S.N. SPERANSKY, T. AMARJARGALAN*

**(Институт бизнеса, информационных технологий и финансов, Россия,  
Ивановский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Россия,  
Монгольский университет технологии и дизайна, Монголия)**

**(Institute of Business, Informational Technologies and Financing, Russia  
Ivanovo branch of the Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Russia,  
Mongolian University of Science and Technology, Mongolia)**

E-mail: lapshinov1974@yandex.ru; zhukovayana77@gmail.com; spira1971@mail.ru; tamarjargalan@yahoo.com

*В настоящей статье рассматриваются базовые подходы для оценки эффективности управления товарными запасами для реализации продукции швейных предприятий через маркет-плейсы, и намечены методы ее повышения через построение сезонных моделей с учетом остроты сезонности и отсутствия постоянного спроса со стороны покупателей. Моделируется вероятный спрос и нормируется его удовлетворенность.*

*This article discusses the basic approaches for assessing the efficiency of inventory management for the sale of products of clothing enterprises through market places and outlines methods for increasing it through the construction of seasonal models, taking into account the acuteness of seasonality and the lack of constant demand from buyers. The probable demand is modeled and its satisfaction is normalized.*

**Ключевые слова:** ассортимент товарной продукции, оборачиваемость запасов, статистические методы и модели, вероятностный спрос, прогнозирование уровня удовлетворенности.

**Keywords:** range of marketable products, inventory turnover, statistical methods and models, probabilistic demand, forecasting the level of satisfaction.

В настоящее время все большую популярность среди ивановских производителей швейной и трикотажной продукции приобретают интернет-каналы продаж через агрегаторов – так называемых "маркет-плейсов". Идеология этого бизнеса достаточно проста: производитель полностью организует свой виртуальный магазин, от-

вечая за медиа-контент и товарные остатки. Агрегатор имеет процент с каждой сделки по купле-продаже. При этом он выставляет определенные условия к ряду показателей – цене, товарным остаткам, срокам хранения товара на распределительном центре агрегатора, а также товарному сервису. Имея многочисленные плюсы от сотрудничества

с данными компаниями, производители несут и существенную долю риска, связанного, прежде всего, с управлением товарными запасами. Большинство швейной и трикотажной продукции небольших производителей нельзя отнести к категории товаров FMCG. К данной группе товаров традиционно относятся товары повседневного спроса: продукты питания, бытовая химия, личная гигиена. Основная особенность потребительских товаров FMCG – это товары с высокой оборачиваемостью.

Товары швейного производства имеют гораздо меньшую оборачиваемость и, следовательно, худшую прогнозируемость продаж в розничном сегменте рынка. Поэтому перед производителем стоит нетривиальная задача: он должен спрогнозировать такой товарный запас на распределительном центре агрегатора, который бы, с одной стороны, удовлетворял требуемому уровню сервиса и не допускал упущенных продаж ввиду товарного дефицита, а, с другой стороны, обеспечивая требуемые показатели оборачиваемости запасов и сроков хранения, исключал "перетарку" на распределительном центре. В своей предыдущей статье мы рассматривали возможность использования вероятностных алгоритмов для определения оптимального товарного запаса в розничном магазине. Однако в данном случае основным отличием будет значительно более редкие продажи и их большая волатильность при переходе от низкого сезона к высокому. Поэтому требуются некоторые изменения указанных работ [1] алгоритмов, учитывающие данную особенность.

#### *Метод исследования*

В качестве предмета исследования для оценки выбран размер товарного запаса в натуральном выражении, обеспечивающий заданный уровень удовлетворения потенциального дневного спроса с учетом сезонной динамики.

Метод исследования – вероятностное прогнозирование товарного запаса, обеспечивающего удовлетворение покупательского спроса с заданной вероятностью.

В предыдущей статье [9] рассматривался метод, суть которого заключалась в

определении вероятности исхода каждого дневного события, например: отсутствие покупки, покупка 1 штуки, покупка 2 штуки и т. д. –  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ . Вероятность определяется как отношение данного исхода ко всем исходам в рамках сезонного цикла – отдельно рассчитывается для высокого сезона и низкого сезона, так как внутри данных периодов спрос изменяется нелинейно. После этого определяется суммарная вероятность того или иного исхода.

Например, если длительность сезона 6 месяцев или 183 дня, то суммарная вероятность события с нулевой продажей по конкретному товару определяется по формуле:

$$\sum P_0 = 1/183N, \quad (1)$$

где  $N$  – количество исходов с нулевой продажей.

Проблемой существующего метода является тот факт, что продажи в "пике" сезона на интервале нескольких недель могут носить характер, аналогичный товарам FMCG, иными словами, близкий к нормальному распределению, то есть продажа является более вероятной, чем отсутствие продажи. Поэтому указанный выше алгоритм прогнозирования максимального запаса на период сезонных продаж может привести к ситуации товарного дефицита в самый пик продаж "сезона", так называемый "острый сезон".

Для прогнозирования подобных аномальных значений нами предлагается введение повышенного уровня удовлетворенности потенциального спроса для наиболее пиковых периодов "высокого" сезона. Для этого рассчитываем средний коэффициент сезонности для "высокого" сезона продаж. Для периода, в котором коэффициент сезонности будет выше среднего в сезонный период, вводим повышенный уровень удовлетворенности. Результаты расчета среднего коэффициента сезонности для "высокого" сезона продаж и повышенных запасов на этот период представлены в табл. 1.

Таким образом, мы увеличиваем товарный запас произведенной продукции для реализации с учетом возможных рисков дефицита в самые продаваемые периоды, так

называемый "острый сезон", снижая тем самым риски затоваривания для подобного ассортимента.

Расчетный величина товарного запаса в дальнейшем округляется до целой величины.

Т а б л и ц а 1

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Коэффициент сезонности, Ксез	1,00	1,06	1,31	2,95	3,40	2,30	2,51	2,52	2,44	2,15	1,47	1,15
Сезон продаж	низкий	низкий	низкий	высокий	высокий	высокий	высокий	высокий	высокий	низкий	низкий	низкий
Средний коэффициент в высоком сезоне	-	-	-	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	-	-	-
Отношение среднего и Ксез	-	-	-	<b>1,13</b>	<b>1,30</b>	0,88	0,96	0,96	0,94	-	-	-
Плановый уровень вероятности удовлетворения спроса, %	95	95	95	<b>98</b>	<b>98</b>	95	95	95	95	95	95	95
Расчетный дневной товарный запас, ТЗ <sub>расч</sub>	28,6	30,3	37,3	<b>71,94</b>	<b>83,09</b>	48,0	52,4	52,6	51,0	44,9	42,0	33,0
Рекомендованный дневной товарный запас, шт.	29	31	38	<b>72</b>	<b>83</b>	48	53	53	51	45	42	33

### Результаты и обсуждение

Результаты данного исследования были использованы в 2022 году предприятием по пошиву швейных изделий. На основе внедрения приведенной выше модели удалось избежать появления дефицита товарных остатков даже при еженедельных поставках на складские мощности.

При совместном применении ABC-анализа и установления уровня вероятности удовлетворения покупательского спроса можно рекомендовать следующие интервальные значения для увеличения в период наиболее "острого сезона":

- товары группы "А" - 95% - 98%;
- товары группы "В" - 85% - 95%;
- товары группы "С" - 70% - 80%.

### ВЫВОДЫ

1. Для прогноза запасов на товары спортивного спроса, имеющие острые периоды сезонного всплеска продаж, целесообразно выделять несколько периодов: "низкой сезон", "высокий сезон" и "острый сезон", внутри которого их поведение значительно различается.

2. Управляя прогнозной вероятностью удовлетворения спроса возможно оптимизировать товарный запас и избежать рисков дефицита в наиболее "острый" период продаж.

3. Применение статистических методов управления товарными запасами должно иметь системный характер и учитывать текущие тенденции в изменении спроса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Artley M. Oracle Retail Demand Forecasting [Электронный ресурс]. – Oracle. - 2013. Режим доступа: 127 [http://docs.oracle.com/cd/E12475\\_01/rdf/pdf/134/rdf-134-03-ccug.pdf](http://docs.oracle.com/cd/E12475_01/rdf/pdf/134/rdf-134-03-ccug.pdf), свободный.
2. Bartlett K. Store Replenishment (Retail Supply Chain in the Real World). – Amazon Digital Services, Inc., 2013.
3. Лапинов С.Б., Жукова Я.Э. Повышение эффективности управления ассортиментом торгового предприятия на основе статистических методов анализа данных // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020, № 5-2. С. 308...312.
4. Степанова С.М., Голощапова Л.В., Сперанский С.Н., Пахотин Н.Е. Интегральная оценка экономического потенциала промышленного предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С. 5...10. – DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_5.

5. Charles W. Demand-Driven Forecasting: A Structured Approach to Forecasting. – Wiley, 2013.

6. Ефремов Д.Е., Сперанский С.Н. Геометрические характеристики заправочной линии основы при поступательном перемещении скала по кронштейнам // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1997, № 1. С. 42.

7. Уткин А.И., Сперанский С.Н. Управление доходным потенциалом кластерообразующих предприятий Ивановской области // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 3. С.14...20.

8. Efremov D.E., Speranskii S.N., Pakhotina I.N. Interaction between the warp yarns and the backrest during complex movement // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2003, №6. P. 43...46.

9. Лапшинов С.Б., Жукова Я.Э., Сперанский С.Н., Амаржаргалан Т. Повышение эффективности управления товарными запасами на основе создания статистических моделей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 2. С.59...64. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_59. – EDN FVQYMM.

10. Шахова И.Ю., Сперанский С.Н., Амаржаргалан Т. Трудовой компонент в экономической безопасности текстильных предприятий Ивановской области // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 3. С. 25...32. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_3\_25. – EDN QFYINE.

11. Efremov D.E., Speranskii S.N. Evening-out the warp yarn tension on a loom with a double backrest // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1996, № 6. P. 48...51.

12. Thomopoulos N. Demand Forecasting for Inventory Control. – Springer, 2014.

## REFERENCES

1. Artley M. Oracle Retail Demand Forecasting [Electronic resource]. – Oracle. - 2013. Access mode: 127 [http://docs.oracle.com/cd/E12475\\_01/rdf/pdf/134/rdf-134-03-ccug.pdf](http://docs.oracle.com/cd/E12475_01/rdf/pdf/134/rdf-134-03-ccug.pdf), свободный.

2. Bartlett K. Store Replenishment (Retail Supply Chain in the Real World). – Amazon Digital Services, Inc., 2013.

3. Lapshinov S.B., Zhukova Ya.E. Improving the efficiency of assortment management of a trading enterprise based on statistical methods of data analysis // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2020, No. 5-2. P. 308...312.

4. Stepanova S.M., Goloshchapova L.V., Speransky S.N., Pakhotin N.E. Integral assessment of the economic potential of an industrial enterprise // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, No. 1. P. 5...10. – DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_5.

5. Charles W. Demand-Driven Forecasting: A Structured Approach to Forecasting. – Wiley. P.213...384.

6. Efremov D.E., Speransky S.N. Geometric characteristics of the filling line of the base during the translational movement of the rock along the brackets // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 1997, No. 1. S. 42.

7. Utkin A.I., Speransky S.N. Management of the income potential of cluster-forming enterprises of the Ivanovo region // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, No. 3. S. 14...20.

8. Efremov D.E., Speranskii S.N., Pakhotina I.N. Interaction between the warp yarns and the backrest during complex movement // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2003, №6. P. 43...46.

9. Lapshinov S. B., Zhukova Ya. E., Speransky S. N., Amarzhargalan T. Improving the efficiency of inventory management based on the creation of statistical models // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, No. 2. S. 59...64. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_59. – EDN FVQYMM.

10. Shakhova I.Yu., Speransky S.N., Amarzhargalan T. Labor component in the economic security of textile enterprises in the Ivanovo region // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2022, No. 3. S. 25 ... 32. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_3\_25. – EDN QFYINE.

11. Efremov D.E., Speranskii S.N. Evening-out the warp yarn tension on a loom with a double backrest // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1996, № 6. P. 48...51.

12. Thomopoulos N. Demand Forecasting for Inventory Control. – Springer. – 2014.

Рекомендована кафедрой экономики и прикладной информатики Ивановского филиала РГУ имени Г.В. Плеханова. Поступила 14.11.22.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ПРИКЛАДНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ  
ИЗУЧЕНИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛИСТОВ  
ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ\***

**THEORETICAL APPROACHES AND APPLIED TOOLS  
FOR STUDYING THE EMPLOYMENT OF SPECIALISTS  
IN THE TEXTILE INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Е.В. ВАНКЕВИЧ, С.О. ГОРОВОЙ*

*E.V. VANKEVICH, S.O. GOROVOY*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State University of Technology, Republic of Belarus)

E-mail: vankevich\_ev@.tut.by, stanislavgorovoj@gmail.com

*Исследованы тенденции спроса и предложения на рынке труда специалистов в текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь. Установлено, что исследование рынка труда на основе анализа востребованных навыков позволяет получить дополнительную информацию для согласования системы подготовки кадров в текстильной и легкой промышленности с потребностями рынка труда. Для анализа использована эмпирическая база данных о требуемых навыках на рабочем месте для специалистов в текстильной и легкой промышленности, сформированная в результате опроса выпускников Витебского государственного технологического университета Республики Беларусь (2019-2020 года выпуска). Выявлено, что доминирующими проблемами трудоустройства выпускников являются: отсутствие опыта работы по специальности, недостаток востребованных профессиональных навыков, значительные масштабы несоответствия полученной квалификации выполняемой работе в разрезе отдельных специальностей. Проведенное исследование позволило разработать рекомендации для информационного и методического обеспечения подготовки специалистов с востребованными навыками на предприятия текстильной и легкой промышленности страны.*

*The demand and supply trends in the labor market of specialists in the textile and light industry of the Republic of Belarus have been studied. It is proved that the study of the labor market through the prism of skills provides additional information for matching the training system in the textile and light industry with the requirements of the labor market. The empirical database of required skills in the workplace for specialists in the textile and light industry formed from a tracer studies of the Vitebsk State Technological University of the of the Republic of Belarus (2019-2020 graduates) were used for the analysis. It was found that the dominant problems*

---

\* Статья подготовлена по материалам доклада на Международной научной конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь). Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы 12.3.04 «Цифровизация рынка труда в инновационной экономике Республики Беларусь: направления, методы анализа, регулирование, прогноз» (№ ГР 20211113 от 07.05.2021 г.) подпрограммы 12.3 «Экономика» государственной программы научных исследований «Общество и гуманитарная безопасность белорусского государства» на 2021-2025 гг.

*of graduates employment are: lack of work experience in the specialty, lack of demanded over-professional skills, significant mismatch between the qualifications obtained and the work performed in the context of individual specialties. The conducted study allowed to develop recommendations for informational and methodological support for the timely training of specialists with in-demand skills in the textile and light industry enterprises of the country.*

**Ключевые слова:** рынок труда, навыки, несоответствие навыков, текстильная и легкая промышленность.

**Keywords:** labor market, skills, skills mismatch, textile and light industry.

### *Введение*

В современных условиях основной проблемой подготовки кадров для легкой промышленности выступает отрыв получаемых в процессе обучения знаний и навыков от реальных запросов предприятий на конкретные профессиональные компетенции [1; 2; 3, с. 172; 4, с. 74]. Это вызвано наличием информационной асимметрии на рынке труда [3...5], низкой заинтересованностью учреждений образования и предприятий промышленности в совершенствовании системы подготовки кадров [1; 6, с. 63; 7, с. 97; 8, с. 53; 9, с. 52...53]. В результате, многие авторы отмечают [1...3], [5...8], [10...16], что таким образом на рынке труда возникают диспропорции между структурой спроса и предложения на рынке труда, обусловленные избытком кадров в разрезе различных профессионально-квалификационных групп [3...5], [10], [11], недостатком определенных навыков [1], [3], [13...15], [17], влиянием цифровизации и Индустрии 4.0 на текстильную промышленность [18, с. 6,7].

В Республике Беларусь официальная социально-демографическая и социально-экономическая статистика в сфере рынка труда [19], [20] использует преимущественно количественные методы прогнозирования потребности в кадрах [21, с. 94]. Также специалистами Научно-исследовательского института труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь проводятся отдельные выборочные опросы работодателей по вопросам занятости населения [22]. В этих данных не предусмотрено определение навыков (их учет, анализ и прогнозирование), что, с одной

стороны, обуславливает ограничения аналитических возможностей в проведении исследований рынка труда, а с другой – создает дополнительные трудности при поиске работы и трудоустройстве молодых специалистов. Особенно в настоящее время, когда наблюдается снижение темпов роста текстильной и легкой промышленности как в Республике Беларусь [8, с. 52], так и за рубежом [23, с. 13...15], процесс трудоустройства выпускников технологических специальностей наиболее затруднен. Для того чтобы приблизить систему подготовки кадров к реальным запросам промышленности, образовательные системы необходимо ориентировать на формирование навыков и умений, востребованных на конкретных рабочих местах на предприятиях текстильной и легкой промышленности.

Современные тенденции социально-экономического развития Республики Беларусь характеризуются, с одной стороны, снижением уровня зарегистрированной безработицы и увеличением уровня занятости населения, но, с другой стороны, для рынка труда Республики Беларусь характерно несоответствие между спросом и предложением рабочей силы, наличие неполной занятости, длительной безработицы [1...5], [21]. Следует также отметить, что рынок труда молодых специалистов является особенно напряженным [21, с. 91]. За 2016-2021 гг. в стране наблюдается снижение численности молодежи – на 307,1 тыс. чел. (в 2021 г. численность составляла 1,461 млн. чел.), сокращение ее доли в общей численности населения на 3,04 п.п. до 15,63% в 2021 г., снижение численности рабочей силы в возрасте 15...29 лет – до 911,4



тыс. чел (на 35,35%), снижение уровня участия молодежи в рабочей силе – с 67,3% в 2016 г. до 62,4% в 2021 г. (на 4,9 п.п.) (расчитано авторами на основе данных [19], [20]). Уровень молодежной безработицы составляет 6,6% в 2021 г., что выше общего уровня безработицы в стране (3,9% в 2021 г.). Необходимо отметить, что в Республике Беларусь уделяется большое внимание содействию занятости молодежи: разработан и принят ряд нормативно-правовых актов, стимулирующих занятость молодежи в реальном секторе экономики [24]; налажена профессиональная подготовка и переподготовка; предоставляются приоритеты при первичном трудоустройстве на вакантные рабочие места предприятий промышленности; в стратегиях кадрового обеспечения предприятиями текстильной и легкой промышленности прогнозируется необходимое количество молодых специалистов на конкретные рабочие места с целью развития кадрового потенциала [25]. Вместе с тем, дальнейшее развитие направлений содействия занятости может быть усовершенствовано на основе анализа востребованных навыков.

#### *Методы исследования*

В настоящее время официальная статистическая информация, используемая для анализа рынка труда [19], [20], [26], не содержит данных о навыках, востребованных на рынке труда в разрезе профилей подготовки и отдельных специальностей. Поэтому для изучения спроса на навыки со стороны работодателей было проведено исследование трудоустройства выпускников дневной формы обучения Витебского государственного технологического университета (далее – ВГТУ) за 2019-2020 гг. Необходимо отметить, что ВГТУ является единственным учреждением высшего образова-

ния в Республике Беларусь, которое осуществляет подготовку специалистов для текстильной и легкой промышленности страны. Исследование было основано на опросе выпускников университета с целью оценки востребованности специальностей университета, требуемых компетенций на рынке труда молодежи в разрезе профилей и специальностей подготовки, выявления степени соответствия содержания образовательного процесса требованиям конкретных рабочих мест, определения факторов успешного трудоустройства и др. Реализация опроса основана на анкете для анализа трудоустройства выпускников, учитывающей особенности рынка труда Республики Беларусь, отечественный и зарубежный опыт проведения исследований трудоустройства выпускников [6], [7], [10], [11], [12...15], [27], [28]. Построение анкеты для опроса было основано на методическом подходе Европейского фонда образования (автор – S. Elder) к отслеживанию трудоустройства выпускников ("tracer studies") [27]. Анкета реализована посредством электронной оболочки в сетевом конструкторе опросов "Google Forms". Рассылка среди выпускников проводилась в несколько этапов с помощью пригласительных писем и сгенерированной ссылки на опрос через социальные сети.

#### *Результаты и обсуждения*

В опросе приняли участие 114 выпускников университета (выборочная совокупность), из которых 50 человек – выпускники текстильной и легкой промышленности (далее – респонденты, выпускники технологических специальностей), что составляет 43,86% от общего числа опрошенных (табл. 1 – распределение респондентов по специальностям подготовки в университете).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Специальности	Численность опрошенных выпускников, чел.	Удельный вес среди выпускников, %
Специальности текстильной и легкой промышленности, в том числе:		50	43,86
1	Производство текстильных материалов	12	24,00
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	3	6,00
3	Автоматизация технологических процессов и производств	15	30,00

4	Метрология, стандартизация и сертификация	10	20,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	4	8,00
6	Конструирование и технология изделий из кожи	4	8,00
7	Товароведение и экспертиза товаров	2	4,00
ИТ-специальности		17	14,91
Экономические специальности		47	41,23
Итого (сумма по выделенным строкам):		114	100,00

Из выпускников специальностей текстильной и легкой промышленности опрошено 50 человек, что составляет 43,86% от общего числа выпускников университета, принявших участие в опросе.

По результатам исследования востребованность технологических специальностей

выпускниками ВГТУ на рынке труда оценена невысоко (табл. 2 – оценки респондентов о степени востребованности специальностей университета на рынке труда Республики Беларусь и вероятности выбора своей специальности повторно).

Таблица 2

№ п/п	Специальности	Средняя оценка востребованности специальности по 5-балльной шкале*	Преобладающая оценка респондентов о вероятности выбора своей специальности повторно	
			по 5-балльной шкале**	% ответов
Специальности текстильной и легкой промышленности:				
1	Производство текстильных материалов	3,25	3	83,33
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	1,67	2	66,67
3	Автоматизация технологических процессов и производств	2,74	2	53,33
4	Метрология, стандартизация и сертификация	3,40	4	70,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	2,00	2	75,00
6	Конструирование и технология изделий из кожи	2,50	1	50,00
7	Товароведение и экспертиза товаров	3,50	4	50,00
ИТ-специальности		3,56	4	62,50
Экономические специальности		3,99	4	59,57

Примечание. \* 1 балл – специальность очень востребована и популярна на рынке труда, 5 баллов – специальность не востребована и непопулярна на рынке труда; \*\* 1 балл – очень высокая вероятность, 5 баллов – очень низкая вероятность.

Необходимо отметить, что наиболее высокую оценку востребованности получили специальности: "Товароведение и экспертиза товаров" (в среднем 3,5 балла по 5-балльной шкале), "Метрология, стандартизация и сертификация" (3,4 балла) и "Производство текстильных материалов" (3,25 балла). Как менее востребованные оценены специальности: "Конструирование и технология изделий из кожи" (2,5 балла), "Конструирование и технология швейных изделий" (2,0 балла) и "Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания" (1,67 балла).

Средняя оценка востребованности специальностей текстильной и легкой промышленности составила 2,72 балла при возможных 5 баллах. В сравнении востребованность на рынке труда экономических специальностей и специальностей ИТ-профиля оценена выпускниками ВГТУ гораздо выше – в среднем на 3,99 и 3,56 балла соответственно.

Выбор респондентами технологических специальностей был обусловлен следующими причинами: осознание востребованности специальностей (32% ответов); совет родителей (24%); невысокий конкурсный балл при поступлении (20%); др.

Возможность выбора выпускниками своей специальности повторно большинство респондентов оценило только на 3 балла (40% респондентов) и 4 балла (30%) по 5-балльной шкале. Однако в разрезе специальностей тенденции различны. Специальности текстильной промышленности получили самые низкие оценки (2,42 балла в среднем по специальности "Производство текстильных материалов" и 2,67 балла по специальности "Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания") как в разрезе группы технологических специальностей, так и в целом по выборочной совокупности респондентов. То есть субъективные оценки респондентов востребованности специальностей текстильной и легкой промышленности невысокие.

26% опрошенных выпускников специальностей текстильной и легкой промышленности совмещали обучение в университете с работой. Основной причиной подработки студентов технологических специальностей отмечена необходимость обеспечения финансовой независимости (как и специальностей ИТ-профиля и экономических) – 84,62% от ответов респондентов.

Таким образом, исследование показало, что наиболее востребованными технологи-

ческими специальностями на рынке труда, по мнению выпускников, являются: "Товароведение и экспертиза товаров" и "Метрология, стандартизация и сертификация". Специальности текстильной промышленности менее востребованы. На выбор специальностей, в основном, наибольшее влияние оказали внешние факторы: доступная информация о потребности в специалистах на рынке труда, мнение родителей, конкурсный балл при поступлении. Необходимо отметить, что почти треть респондентов совмещали учебу с работой для обеспечения своей финансовой устойчивости (что характерно и для большинства выпускников ИТ-специальностей и экономических).

Проведенное исследование позволило проанализировать процесс поиска работы выпускниками. В целом для выпускников специальностей текстильной и легкой промышленности характерны наиболее короткие периоды поиска работы – большинство выпускников этих специальностей (76%) нашли себе рабочее место менее чем за 1 месяц. Однако в разрезе специальностей тенденции различны (табл. 3 – ответы выпускников о продолжительности поиска первого рабочего места в разрезе специальностей).

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Специальности	Средний период поиска работы	% ответов
Специальности текстильной и легкой промышленности:			
1	Производство текстильных материалов	менее месяца	66,67%
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	от 1 до 3-х месяцев	100,00
3	Автоматизация технологических процессов и производств	менее месяца	73,33
4	Метрология, стандартизация и сертификация	менее месяца	80,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	менее месяца	100,00
6	Конструирование и технология изделий из кожи	менее месяца	50,00
7	Товароведение и экспертиза товаров	от 1 до 3-х месяцев	100,00
ИТ-специальности		от 1 до 3-х месяцев	65,63
Экономические специальности		от 3-х до 6 месяцев	74,47

Необходимо отметить, что выпускники специальностей текстильной промышленности имели разные периоды поиска работы. Большинство выпускников специальности "Производство текстильных матери-

алов" (66,67%) находили себе первое рабочее место менее чем за месяц, а выпускники специальности "Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания" – от 1 до 3-х месяцев.

Выпускники технологических специальностей быстро приступили к работе – 52% респондентов менее чем через месяц после выпуска, 38% – на момент выпуска, 10% – от 1 до 3-х месяцев после выпуска. Такие тенденции являются положительными, и в основном это было обусловлено тем, что большинство выпускников технологических специальностей обучались за счет средств бюджета (96%) и подлежали обязательному распределению. То есть выпускники специальностей текстильной и легкой промышленности находят первое рабочее место быстрее, чем выпускники ИТ-специальностей и экономических.

Таким образом, исследование позволило сделать вывод о том, что выпускники специальностей текстильной и легкой промышленности успешнее адаптируются к

условиям рынка труда (по сравнению со специалистами экономического и ИТ-профиля), не попадая в категорию безработных на длительный период, несмотря конкуренцию и сложность процесса перехода к трудовой жизни для молодежи.

Самыми успешными способами поиска работы выпускники технологических специальностей отметили распределение в университете (34% респондентов), семейные связи (36%), личные связи (16%), через подработку во время учебы (8%), с помощью интернета, социальных сетей (6,00%). Следует отметить, что оценки по данному вопросу значительно варьируются в разрезе специальностей (табл. 4 – дифференциация эффективных способов поиска работы в разрезе специальностей).

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Специальности	Наиболее эффективный способ поиска работы	% ответов
Специальности текстильной и легкой промышленности:			
1	Производство текстильных материалов	личные связи	58,33
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	семейные связи	100,00
3	Автоматизация технологических процессов и производств	распределение в университете	73,33
4	Метрология, стандартизация и сертификация	семейные связи	80,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	через подработку во время учебы	50,00
6	Конструирование и технология изделий из кожи	распределение в университете	100,00
7	Товароведение и экспертиза товаров	с помощью интернета, социальных сетей	100,00
ИТ-специальности		распределение в университете	46,88
Экономические специальности		семейные связи	57,14

Большинство респондентов (44%) обозначили, что в процессе поиска работы они столкнулись с проблемой отсутствия опыта работы, для 36% респондентов характерно несоответствие навыков требованиям работодателей, другие проблемы трудоустройства (20%). Однако следует отметить, что степень несоответствия у выпускников текстильной и легкой промышленности ниже, чем у выпускников ИТ-специальностей и экономических.

Текущее положение выпускников на рынке труда можно охарактеризовать по

следующей группе показателей [27]: уровень оплаты труда; статус занятости; продолжительность рабочей недели; тип организации, в которой трудоустроен выпускник; сфера профессиональной деятельности; должность; количество рабочих мест выпускника после завершения обучения.

Согласно официальной статистической информации [17] и результатам отдельных исследований [15] уровень оплаты труда молодых специалистов в Республике Беларусь ниже средней заработной платы экономически активного населения. Резуль-

таты опроса выпускников университета это подтвердили. В целом самый низкий уровень оплаты труда сложился именно у выпускников технологических специальностей – от 601...900 белорусских рублей (характерен для 62% респондентов данной группы), что эквивалентно 240...360\$ США. Воз-

можно, это связано с финансово-экономическим состоянием организаций текстильной и легкой промышленности в стране. В разрезе специальностей тенденции различны (табл. 5 – уровень оплаты труда выпускников в разрезе специальностей).

Т а б л и ц а 5

№ п/п	Специальности	Уровень оплаты труда, бел. руб.	% ответов
Специальности текстильной и легкой промышленности:			
1	Производство текстильных материалов	601...900	83,33
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	901...1200	66,67
3	Автоматизация технологических процессов и производств	более 1800	86,67
4	Метрология, стандартизация и сертификация	601...900	60,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	601...900	50,00
6	Конструирование и технология изделий из кожи	601...900	50,00
7	Товароведение и экспертиза товаров	1201...1500	100,00
ИТ-специальности		более 1800	87,50
Экономические специальности		1201-1500	78,72

Изучение трудоустройства выпускников по статусу занятости показало, что для большинства респондентов текстильной и легкой промышленности характерным является постоянная работа (92%) с продолжительностью рабочей недели от 31 до 40 часов (94%). Выпускники технологических специальностей задействованы, в основном, на государственных предприятиях (60%), на долю частных организаций приходится 40%.

Определение востребованных навыков у специалистов текстильной и легкой промышленности заняло центральное место в данном исследовании. Авторский подход предполагал разделение навыков на 3 отдельные группы: над-профессиональные навыки, профессиональные навыки и цифровые навыки. Над-профессиональные навыки являются универсальными, они отвечают за успешное участие в рабочем процессе и не связаны с конкретной профессиональной областью. К группе профессиональных навыков отнесены те компетенции, которые необходимы для работы на конкретной должности. Выделение цифровых навыков из группы профессиональных навыков обусловлено цифровизацией национальной экономики.

В результате исследования определено, что для технологических специальностей наиболее востребованными стали профессиональные навыки, из них преимущественно технические навыки и навыки работы с компьютером (табл. 6 – дифференциация наиболее востребованных навыков в разрезе специальностей).

Из категории над-профессиональных навыков для специалистов технологических специальностей наиболее значимыми стали "умение решать сложные задачи", "логическое мышление" и "трудовая этика". Среди цифровых компетенций наиболее востребованными определены "аналитика данных", "инжиниринг бизнес-процессов".

По результатам исследования установлено, что несмотря на востребованность профессиональных навыков, для успешного трудоустройства выпускников технологических специальностей наибольшее влияние (54%) оказали над-профессиональные навыки, в то время как профессиональные только на 34%. То есть, для самого процесса трудоустройства выпускникам специальной текстильной и легкой промышленности были необходимы универсальные навыки, а непосредственно для рабочего места – профессиональные компетенции.

№ п/п	Специальности	Профессиональные навыки	Над-профессиональные навыки	Цифровые навыки
Специальности текстильной и легкой промышленности:				
1	Производство текстильных материалов	технические навыки	организованность, логическое мышление, трудовая этика, критическое мышление	инжиниринг бизнес-процессов
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	технические навыки	умение решать сложные задачи, организованность, тайм-менеджмент	инжиниринг бизнес-процессов
3	Автоматизация технологических процессов и производств	навыки работы с компьютером, технические навыки	умение решать сложные задачи, эмоциональный интеллект, тайм-менеджмент, критическое мышление	аналитика данных, инжиниринг бизнес-процессов
4	Метрология, стандартизация и сертификация	навыки работы с компьютером, технические навыки, математические навыки	умение решать сложные задачи, логическое мышление, тайм-менеджмент, трудовая этика	аналитика данных, инжиниринг бизнес-процессов
5	Конструирование и технология швейных изделий	навыки работы с компьютером, технические навыки	логическое мышление, тайм-менеджмент, трудовая этика, критическое мышление	цифровой бизнес-анализ, инжиниринг бизнес-процессов
6	Конструирование и технология изделий из кожи	технические навыки	умение решать сложные задачи, логическое мышление, тайм-менеджмент, трудовая этика	аналитика данных, инжиниринг бизнес-процессов
7	Товароведение и экспертиза товаров	навыки работы с компьютером, технические навыки	многозадачность, организованность, эмоциональный интеллект	аналитика данных, программирование
ИТ-специальности		навыки работы с компьютером, математические навыки	умение решать сложные задачи, многозадачность, трудовая этика, лидерские качества	программирование
Экономические специальности		навыки работы с компьютером, математические навыки	умение решать сложные задачи, многозадачность, организованность	аналитика данных

Анализ несоответствий между полученной специальностью и требованиями рабочего места выявил значительные различия среди специальностей (табл. 7 – соответствие полученной квалификации требованиям рабочего места в разрезе специальностей текстильной и легкой промышленности).

Необходимо отметить, что полного соответствия подготовки специалистов в университете требованиям рабочих мест добиться невозможно. Наибольшее соответствие характерно для специальностей "Автоматизация технологических процессов и производств" (80%), "Конструирование и технология швейных изделий" (75%) и "Конструирование и технология изделий из

кожи" (75%). Избыток образования (полученная квалификация выше требований рабочего места) присутствует практически у всех технологических специальностей в диапазоне 20...33%, при этом специальность текстильной промышленности "Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания" достигает максимального значения (33,33%). Для выпускников специальности "Производство текстильных материалов" наблюдается также одновременно и недостаток образования (полученная квалификация ниже требований рабочего места) – 16,67%. Горизонтальное несоответствие (квалификация не связана с выполняемой работой)

отмечено у выпускников специальностей "Метрология, стандартизация и сертификация" (20%), "Товароведение и экспертиза товаров" (40%). Однако следует отметить, что для выпускников специальностей текстильной и легкой промышленности уровень несоответствий ниже, чем у выпускников экономического и ИТ-профиля. Основной причиной несоответствия полученной

квалификации требованиям рабочего места выпускники технологических специальностей отметили продолжающийся поиск работы (40%) и трудности с поиском подходящего рабочего места (28%). Больше половины респондентов отметили (58%), что планируют изменение траекторий своей занятости в течение следующих двух лет для обеспечения карьерного роста.

Т а б л и ц а 7

№ п/п	Специальности	Полученная квалификация полностью соответствует занимаемому рабочему месту	Полученная квалификация выше требований, предъявляемых на рабочем месте	Полученная квалификация ниже требований, предъявляемых на рабочем месте	Полученная квалификация соответствует занимаемому рабочему месту, но не связана с выполняемой работой
Специальности текстильной и легкой промышленности:					
1	Производство текстильных материалов	58,33	25,00	16,67	–
2	Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания	66,67	33,33	–	–
3	Автоматизация технологических процессов и производств	80,00	20,00	–	–
4	Метрология, стандартизация и сертификация	70,00	–	10,00	20,00
5	Конструирование и технология швейных изделий	75,00	25,00	–	–
6	Конструирование и технология изделий из кожи	75,00	25,00	–	–
7	Товароведение и экспертиза товаров	40,00	–	20,00	40,00

## ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволили сделать выводы о трудоустройстве выпускников специальностей текстильной и легкой промышленности на рынке труда Республики Беларусь.

1. Несмотря на то, что в оценках выпускников первоначально востребованность специальностей текстильной и легкой промышленности определена как невысокая, в дальнейшем они быстрее находили работу и трудоустраивались по сравнению с ИТ-специальностями и экономическими, при

этом уровень соответствия полученной специальности и квалификации у них оказался более высоким.

2. При выборе своей специальности (текстильной и легкой промышленности) выпускники в большей степени ориентировались на внешние факторы – совет родственников, небольшой конкурсный балл и др., что подчеркивает недостаток аналитической информации для профориентационной работы на молодежном рынке труда, о вакансиях, требованиях предприятий к навыкам и умениям.

3. Выпускники специальностей текстильной и легкой промышленности быстро находили рабочее место и приступали к профессиональной деятельности в сравнении с ИТ-специальностями и экономическими.

4. В качестве основной проблемы при поиске работы респондентами определена недостаточность или полное отсутствие опыта работы по полученной специальности, что говорит о необходимости совмещения работы и учебы, о росте практикоориентированности в обучении.

5. Наиболее востребованными навыками определены профессиональные (среди них "технические навыки" и "навыки работы с компьютером"), однако способствующими самому процессу трудоустройства являются универсальные навыки, среди которых "умение решать сложные задачи", "логическое мышление" и "трудова́я этика".

Полученные результаты исследования представляют практический интерес для:

– учреждений образования технического профиля – в возможности использования полученной информации при подготовке проектов учебных планов по специальностям текстильной и легкой промышленности, с учетом необходимости формирования у студентов навыков, востребованных на рынке труда;

– предприятий текстильной и легкой промышленности – с целью упрощения процедуры отбора кадров;

– абитуриентов, студентов, выпускников – для получения сведений о тенденциях рынка труда и факторах, облегчающих поиск работы и трудоустройство в разрезе направлений и специальностей подготовки;

– центров развития карьеры выпускников – с целью совершенствования профориентационной работы, мероприятий по содействию трудоустройству специалистов на предприятиях текстильной и легкой промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Vankevich A., Kalinouskaya I., Zaitseva O.* Assessment of demand for personnel in textile industry on the basis of data analysis of online job portals, AIP Conference Proceedings 2430, 060003 (2022). Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0078827>.

2. *Vankevich A., Kalinouskaya I., Zaitseva O., Korabava A.* Equilibrium of Labor Market: New Security Instruments in the Context of Digitalization // 3 International Scientific Conference on New Industrialization and Digitalization (NID 2020), SHS Web Conf., Vol. 93, 2021. Available at: [doi.org/10.1051/shsconf/20219303017](https://doi.org/10.1051/shsconf/20219303017).

3. *Ванкевич Е.В., Горовой С.О., Калиновская И.Н.* Современные технологии реализации политики занятости молодежи на основе анализа востребованных на рынке труда навыков // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021, № 40 (1). С. 168...184.

4. *Ачеповская Е.А. и др.* Проблемы рынка труда молодежи Республики Беларусь на современном этапе. Ценообразование в строительстве // Мат. республ. научн.-практ. конф. (Минск, 5-8 декабря 2016 г.) / ред. О.С. Голубова и др. – Минск : БНТУ, 2017. С. 72...76.

5. Современные тенденции рынка труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/roundtable/view/sovremennye-tendentsii-rynka-truda-1156/>. – Дата доступа: 07.09.2022.

6. *Покровская М.В., Сидорин А.В.* Оценка востребованности выпускников технического университета // Инженерное образование. – 2012, № 2. С. 62...65.

7. *Дудина М.М., Глотова Е.Е.* Изучение требований работодателей к выпускникам вузов: российский и зарубежный опыт // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. – 2015, № 1(5). С. 95...98.

8. *Сергиевич Т.В.* Итоги и перспективы развития текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха // Право. Экономика. Психология. – 2019, № 3. С. 51...57.

9. *Радько С.Г., Пришляк Е.А., Пурьскина В.А.* Развитие трудового потенциала как основа принятия кадровых решений на предприятиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 1. С. 51...58.

10. *Оплетина Н.В.* Современные алгоритмы управления трудоустраиваемостью выпускника вуза // Гуманитарный вестник. – 2014, №3. С. 1...10.

11. *Скударева Н.З.* Проблема трудоустройства молодежи на рынке труда // Вестник Московского финансово-юридического университета. – № 1, 2017. С. 294...301.

12. *Schomburg H.* Matching supply and demand of skills on the labor markets in transition and developing countries. Vol. 6. Carrying out tracer studies. ETF, Cedefop, ILO, 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/edemp/ifpskills/documents/publication/wcms534331.pdf>. – Date of access: 08.09.2022.

13. European Commission, Joint Research Centre (2019), The Changing Nature of Work and Skills in the Digital Age, 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/changing-nature>



work-and-skills-digital-age. – Date of access: 10.09.2022.

14. *Strack R., Kaufman E., Kotsis A., Sigelman M., Restuccia D., Taska B.* What's Trending in Jobs and Skills (September 2019) // BCG Burning glass [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.burning-glass.com/research/>. – Date of access: 12.09.2022.

15. *Kriechel B., Vetter T.* Skills mismatch measurement in ETF partner countries. ETF, 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/skills-mismatch-measurement-etf-partner-countries>. – Date of access: 15.09.2022.

16. *Дубовик А.К.* Рынок труда молодежи в Республике Беларусь: проблемы теории и практики // Наука и техника. – 2010, № 5. С. 67...72.

17. *Терников А.А., Александрова Е.А.* Спрос на навыки на рынке труда в сфере информационных технологий // Бизнес-информатика. – 2020, №2. С. 64...83.

18. *Ловкова Е.С., Кашицына Т.Н., Филимонова Н.М.* Потенциал текстильной промышленности для перехода и развития на Индустрию 4.0 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 2. С. 5...11.

19. Занятость населения в Республике Беларусь в 2020 году (по материалам выборочного обследования // Статистический бюллетень. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2021.

20. Социально-демографическая статистика [Электронный ресурс] / Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>. – Дата доступа: 16.09.2022.

21. *Ванкевич Е.В., Горовой С.О.* Исследование трудоустройства выпускников как дополнительный инструмент оценки востребованных навыков на рынке труда молодежи // Белорусский экономический журнал. – 2022, № 2. С. 91...106.

22. Научно-исследовательский институт труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://instlab.by/index.php/ru/>. – Дата доступа: 18.09.2022.

23. *Ларионов В.Г., Шереметьева Е.Н., Балановская А.В.* Векторы цифровой трансформации текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 2. С.12...20.

24. Нормативно-правовые акты по трудоустройству молодежи [Электронный ресурс] // Информационно-поисковая система "ЭТАЛОН-ONLINE". – Режим доступа: [https://www.etalon-online.by/search/?search\\_str=%D1%82%D1%80](https://www.etalon-online.by/search/?search_str=%D1%82%D1%80). – Дата доступа: 21.09.2022.

25. Перспективы отрасли легкой промышленности – в проекте программы социально-экономического развития Беларуси на 2021-2025 годы [Элек-

тронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belleg-prom.by/press/news/db91f9c5b06fa1ed.html>. – Дата доступа: 22.09.2022.

26. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 20.09.2022.

27. *Elder S.* Module 1: Basic concepts, roles and implementation process. ILO school-to-work transition survey: A methodological guide International Labor Office. Geneva: ILO, 2009 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ilo.org/employment/areas/WCMS140862/lang--en/index.htm>. – Date of access: 24.09.2022.

28. *Ванкевич Е.В., Коробова Е.Н., Зайцева О.В., Лавриненко О.Я., Меньшиков В.В., Охотина А.В.* Молодежная безработица приграничных регионов: опыт компаративного анализа. / Под науч. ред. Е.В. Ванкевич. – Витебск: УО "ВГТУ", 2017.

## REFERENCES

1. Vankevich A., Kalinouskaya I., Zaitseva O. Assessment of demand for personnel in textile industry on the basis of data analysis of online-job portals, AIP Conference Proceedings 2430, 060003 (2022). Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0078827>.

2. Vankevich A., Kalinouskaya I., Zaitseva O., Korabava A. Equilibrium of Labor Market: New Security Instruments in the Context of Digitalization // 3 International Scientific Conference on New Industrialization and Digitalization (NID 2020), SHS Web Conf., Vol. 93, 2021. Available at: [doi.org/10.1051/shsconf/20219303017](https://doi.org/10.1051/shsconf/20219303017).

3. Vankevich A.V., Gorovoy S.O., Kalinovskaya I.N. Modern technologies for implementing youth employment policy based on the analysis of skills demanded on the labor market // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2021, № 40 (1). P. 168...184.

4. Achepovskaya E. A. [etc.]. Problems of the youth labor market of the Republic of Belarus at the present stage // Tsenoobrazovanie v stroitel'stve : materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Minsk, 5-8 december 2016) / red. O.S. Golubova i dr. – Minsk : BNTU, 2017. P. 72...76.

5. Modern trends in the labor market [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.belta.by/roundtable/view/sovremennye-tendentsii-rynka-truda-1156/>. – Date of access: 07.09.2022.

6. Pokrovskaya M.V., Sidorin A.V. Assessment of the demand for graduates of a technical university // Inzhenernoe obrazovanie. – 2012, № 2. P. 62...65.

7. Dudina M.M., Glotova E.E. Studying the requirements of employers for university graduates: Russian and foreign experience // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Gumanitarnye is-sledovaniya. – 2015, № 1(5). P. 95...98.

8. Sergievich T.V. Results and prospects for the development of textiles, clothing, leather and fur products // Pravo. Ekonomika. Psikhologiya. – 2019, № 3. P.51...57.

9. Rad'ko S.G., Prishlyak E.A., Puryskina V.A. Development of labor potential as a basis for personnel making solutions at textile industry enterprises // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2022, № 1. P. 51...58.
10. Opletina N.V. Modern algorithms for managing the employability of a university graduate // *Gumanitarnyy vestnik.* – 2014, №3. P. 1...10.
11. Skudareva N.Z. The problem of youth employment in the labor market // *Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta.* – № 1, 2017. P. 294...301.
12. Schomburg H. Matching supply and demand of skills on the labor markets in transition and developing countries. Vol. 6. Carrying out tracer studies. ETF, Cedefop, ILO, 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/edemp/ifpskills/documents/publication/wcms534331.pdf>. – Date of access: 08.09.2022.
13. European Commission, Joint Research Centre (2019), *The Changing Nature of Work and Skills in the Digital Age, 2019* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/changing-nature-work-and-skills-digital-age>. – Date of access: 10.09.2022.
14. Strack R., Kaufman E., Kotsis A., Sigelman M., Restuccia D., Taska B. What's Trending in Jobs and Skills (September 2019) // *BCG Burning glass* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.burning-glass.com/research/>. – Date of access: 12.09.2022.
15. Kriechel B., Vetter T. Skills mismatch measurement in ETF partner countries. ETF, 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/skills-mismatch-measurement-etf-partner-countries>. – Date of access: 15.09.2022.
16. Dubovik A.K. Youth labor market in the Republic of Belarus: problems of theory and practice // *Biznes-informatika.* – 2020, № 2. P. 64..83.
17. Ternikov A.A., Aleksandrova E.A. Demand for skills in the labor market in the field of information technology // *Biznes-informatika.* – 2020, № 2. P.64...83.
18. Lovkova E.S., Kashitsyna T.N., Filimonova N.M. The potential of the textile industry for transition and development to Industry 4.0 // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2022, № 2. P. 5...11.
19. Employment of the population in the Republic of Belarus in 2020 (based on the materials of a sample survey). Statistical bulletin. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – Minsk, 2021.
20. Socio-demographic statistics [Electronic resource] / Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – Mode of access: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>. Date of access: 16.09.2022.
21. Vankevich A.V., Gorovoy S.O. The tracer study of graduates as an additional tool for in-demand skills in the youth labor market anticipating // *Belorusskiy ekonomicheskii zhurnal.* – 2022, №. 2. P. 91 ... 106.
22. Labor Research Institute of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Belarus [Electronic resource]. – Mode of access: <https://in-stlab.by/index.php/ru/>. – Date of access: 18.09.2022.
23. Larionov V.G., Sheremet'eva E.N., Balanovskaya A.V. Vectors of the digital transformation of the textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2022, № 2. P. 12...20.
24. Legal acts on the employment of youth [Electronic resource] // Information retrieval system "ETALON-ONLINE" [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.etalonline.by/search/?search\\_str=D1%82%D1%80](https://www.etalonline.by/search/?search_str=D1%82%D1%80). – Date of access: 21.09.2022.
25. Prospects for the light industry – in the draft program of socio-economic development of Belarus for 2021–2025. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.bellegprom.by/press/news/db91f9c5b06fa1ed.html>. – Date of access: 22.09.2022.
26. National Statistical Committee of the Republic of Belarus [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.belstat.gov.by/>. – Date of access: 20.09.2022.
27. Elder S. Module 1: Basic concepts, roles and implementation process. ILO school-to-work transition survey: A methodological guide International Labor Office. Geneva: ILO, 2009 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ilo.org/employment/areas/WCMS140862/lang--en/index.htm>. – Date of access: 24.09.2022.
28. Vankevich A.V., Korobova E.N., Zaytseva O.V., Lavrinenko O.Ya., Men'shikov V.V., Okhotina A.V. Youth unemployment in the border regions: experience of comparative analysis / Ed. A.V. Vankevich. – Vitebsk: VSTU, 2017.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22.

УДК 677.023.56

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_39

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ВЛАГИ  
В ДВУХСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ СТРУКТУРАХ  
ИЗ ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ**

**STUDIES OF MOISTURE TRANSPORT  
IN TWO-LAYER KNITTED STRUCTURES  
FROM POLYESTER THREADS UNDER EXTERNAL LOAD**

*Н.В. СКОБОВА, Н.Н. ЯСИНСКАЯ*

*N.V. SKOBOVA, N.N. YASINSKAYA*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

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

*В последнее время возрос интерес к проектированию функциональных материалов для одежды. Создание комплекса требуемых гигиенических и эксплуатационных свойств связано с выбором сырьевого состава и структуры текстильного материала, которые в итоге сформируют конечный продукт с заданными свойствами. В связи с этим особый интерес представляют многослойные структуры, содержащие в необходимом порядке различные функциональные слои, скрепленные между собой подходящими способами. Для исследований в качестве слоев многослойного пакета выбраны трикотажные полотна из полиэфирных нитей нового поколения с функцией управления влагой Quick Dry и микрофиламентных нитей SOFT.*

*В статье представлены результаты исследования влагопереноса в текстильных двухслойных пакетах из функциональных трикотажных полотен под действием внешней нагрузки. Для оценки транспортных свойств многослойных пакетов предложен расчетный метод оценки показателей влагопереноса текстильных двухслойных пакетов, сформированных из трикотажных полотен из функциональных нитей, на базе экспериментальных данных. В качестве критериев оценки выбраны скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних слоев, а также коэффициент влагоотдачи – для нижних слоев. Получены зависимости скорости фильтрации и коэффициента фильтрации для материалов верхнего слоя от прикладываемой внешней нагрузки. Даны рекомендации для проектирования композиционных текстильных материалов для спортивной одежды и обуви, обеспечивающие быстрое удаление влаги из пододежного пространства и комфортные условия носки.*

*Recently, there has been an increase in interest in the design of functional materials for clothing. The creation of required hygienic and operational properties set is associated with the choice of raw material composition and structure of the textile material, which will eventually form the final product with the desired properties. In this regard, of particular interest are multilayer structures containing, in the required order, various functional layers, fastened together by suitable methods. For research, knitted fabrics made of new generation polyester yarns with the Quick Dry moisture management function and SOFT microfilament yarns were selected as layers of a multilayer package.*

*The article presents the results of moisture transfer study in two-layer textile bags made of functional knitted fabrics under the action of an external load. To evaluate the transport properties of multilayer bags, a calculation method for estimating the moisture transfer indices of textile two-layer bags formed from knitted fabrics from functional yarns, based on experimental data, is proposed. The filtration rate and filtration coefficient for the materials of the upper layers, as well as the moisture transfer coefficient for the lower layers were chosen as evaluation criteria. The dependences of the filtration rate and filtration coefficient for the materials of the upper layer on the applied external load are obtained. Recommendations are given for the design of composite textile materials for sportswear and footwear, which ensure the rapid removal of moisture from the underwear space and comfortable wearing conditions.*

**Ключевые слова:** многофункциональные материалы, функциональные полиэфирные нити, трикотажные полотна, транспорт влаги, скорость фильтрации, коэффициент фильтрации, влагоотдача.

**Keywords:** multifunctional materials, functional polyester yarns, knitted fabrics, moisture transport, filtration rate, filtration coefficient, moisture loss.

#### *Введение*

В последнее время возрос интерес к проектированию функциональных материалов для одежды, предназначение которой заключается в помощи человеку при достижении определенных целей, а также приспособленности к определенным условиям. Функциональная одежда должна обеспечивать комфорт и защиту от внешних условий. В зависимости от назначения материалы могут иметь самые разнообразные функции: сохранять или высвобождать накопленное тепло тела или влагу, обеспечивать свободу движений, быть тактильно приятными, прочными, устойчивыми к износу, экологически чистыми, перерабатываемыми или биоразлагаемыми, защищать от атмосферных осадков и ветра [1], [2]. В некоторых случаях материалы могут иметь экстремальный функционал: защищать от огня, радиации, микробов и вирусов,

накапливать, излучать и отражать свет, обеспечивать поддержку человека лекарствами и многое другое.

Создание комплекса требуемых гигиенических и эксплуатационных свойств неразрывно связано с выбором сырьевого состава и структуры текстильного материала, которые в итоге сформируют конечный продукт с нужным назначением. В связи с этим особый интерес представляют многослойные структуры, содержащие в необходимом, заданном порядке различные функциональные слои, скрепленные между собой подходящими способами. Слои дополняют друг друга или работают сами по себе, их можно комбинировать в зависимости от требований к готовому материалу, изделию [3].

Ранее авторами статьи были проведены исследования гигиенических и эксплуатационных свойств одинарных трикотажных

полотен из функциональных полиэфирных нитей нового поколения Quick Dry и Soft (ОАО "СветлогорскХимволокно") [4]. 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 PЕС [5].

Целью работы является исследование влагопереноса в текстильных двухслойных

пакетах из функциональных трикотажных полотен под действием внешней нагрузки, разработка рекомендаций для проектирования композиционных текстильных материалов заданного назначения.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследований являлись двухслойные пакеты из трикотажных полотен, полученные переплетением интерлок из функциональных нитей Quick Dry линейной плотности 18,7 текс (f 144), микрофиламентной нити Soft 17,3 текс (f 288), а также традиционных полиэфирных текстурированных нитей PЕС 18,4 текс (f 96). Характеристика одинарных полотен представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сырьевой состав полотна	Толщина полотна, мм	Длина нити в петле, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Объемное заполнение, %
Нить Quick Dry	0,4	3,26	210	161,6
Нить Soft	0,308	3,2	194	196,6
Нить PЕС	0,471	2,73	220	64,6

Прошивным способом формировались следующие варианты пакетов:

- нижний слой – полотно из нити Quick Dry, верхний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft (Q/S);

- нижний слой – полотно из нити Quick Dry, верхний слой – полотно из традиционной полиэфирной текстурированной нити PЕС (Q/PЕС);

- нижний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft, верхний слой – полотно из нити Quick Dry (S/Q);

- нижний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft, верхний слой – полотно из традиционной полиэфирной текстурированной нити PЕС (S/PЕС).

Методика испытаний. Подготавливаются образцы однослойных трикотажных структур размером 5x5см. Образцы складываются пакетом в такой последовательности слоев, которая предположительно будет в готовом изделии. Нижний слой смачивали в дистиллированной воде, пропускали через отжимные валы для удаления свободной несвязанной влаги, до влагосодержания 170%. Сверху на смоченный образец укладывается второй слой, предварительно высушенный в сушильном шкафу

до абсолютно сухого веса. Относительная влажность воздуха в герметичной камере и лаборатории составляла 35 %, температура воздуха 20°С. Прижим слоев осуществляется переменным грузом, создающим распределенную нагрузку величиной от 0,0002 до 0,02 кг/см<sup>2</sup>, имитирующей эксплуатационные режимы носки изделий.

Пакет размещается на электронных весах и через равные промежутки времени слои взвешиваются до наступления момента достижения верхним образцом максимального влагосодержания. Расчет относительного влагосодержания (W, г/г) проводился по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \text{ (г/г)}. \quad (1)$$

#### *Результаты и обсуждения*

Проведена математическая обработка экспериментальных данных и построены кривые изменения относительного влагосодержания материала верхнего слоя с течением времени при различных статических нагрузках (рис. 1 – кинетика изменения влагосодержания верхнего слоя в структуре пакета материалов при различных статических нагрузках).

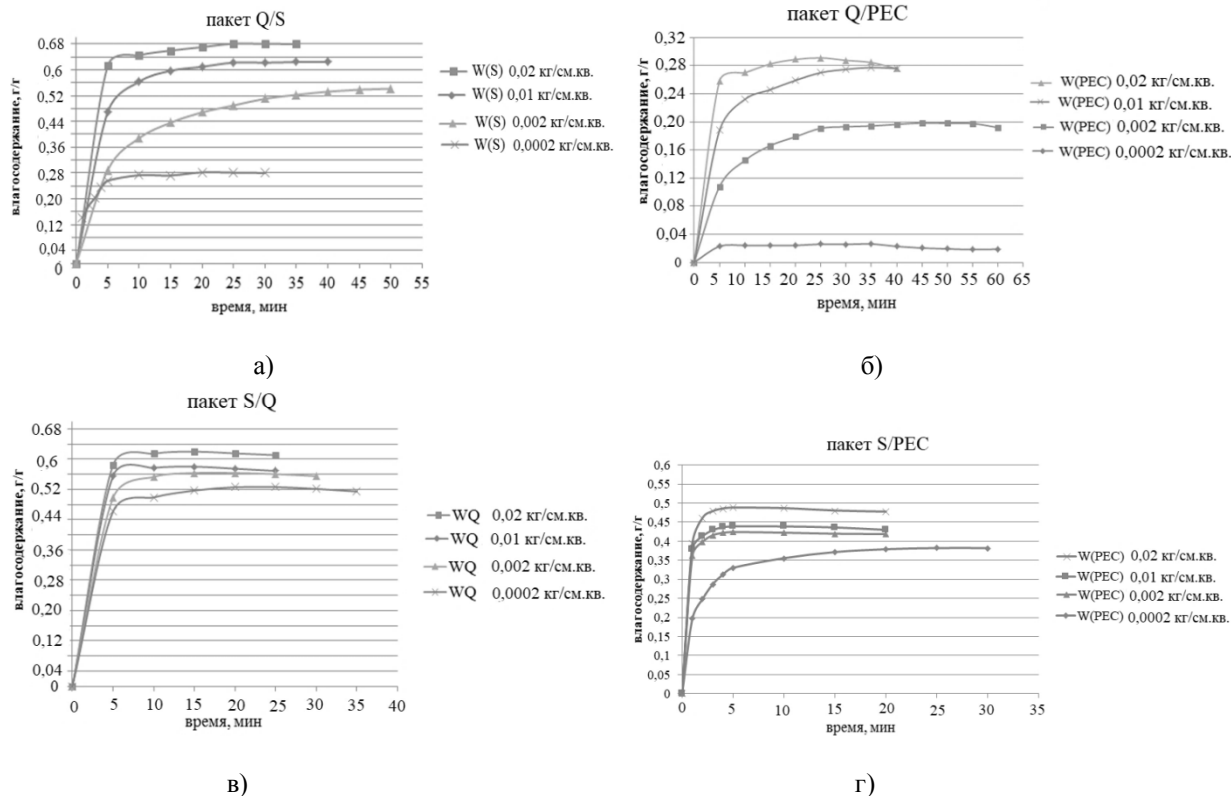


Рис. 1

Анализ динамики средних значений влагосодержания показал, что влагосодержание верхнего слоя возрастает в первые пять минут с последующим замедлением процесса. Причем, чем выше прикладываемая статическая нагрузка на пакет, тем больше влагосодержание. При увеличении нагрузки в 10 раз (с 0,002 до 0,02 кг/см<sup>2</sup>) градиент влагосодержания для пакетов S/Q и S/PEC принимает близкие значения:  $\text{grad}W(S/Q)=0,12$ ,  $\text{grad}W(S/PEC)=0,15$ , а для пакета Q/S градиент равен максимальному из анализируемых значений,  $\text{grad}W(Q/S)=0,35$ . По истечении 15 мин измерений градиент влагосодержания не меняется.

Полученные в ходе экспериментальной обработки данные влагосодержания верхнего слоя двухслойного пакета не позволяют выявить функциональные особенности применяемых материалов при влагопереносе капельно-жидкой влаги. Поэтому для оценки транспортных свойств слоев разработанных пакетов предлагается использовать скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних

слоев в пакете, а также коэффициент влагоотдачи – для нижних слоев.

Выбор параметров расчета основывался на теории фильтрации жидкости [6], а также используя методику, предложенную в ГОСТ Р 52608-2006 [7]. Расчет скорости фильтрации ( $V_\phi$ ) жидкости верхним слоем материалов и коэффициента фильтрации ( $K_\phi$ ) проводился при условии линейного движения жидкости в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна по следующим формулам:

$$V_\phi = \frac{V_{\text{ж}}}{t_m \Delta B} = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{\rho t_m \Delta B} \text{ (см/с)}, \quad (2)$$

$$K_\phi = \frac{V_\phi}{J} = V_\phi \frac{L}{H} \text{ (см/с)}. \quad (3)$$

В данном исследовании напор создавался прикладываемой статической нагрузкой (внешняя нагрузка), рассчитать которую можно по формуле:

$$H = \frac{P}{\gamma} \text{ (см)}. \quad (4)$$

Тогда коэффициент фильтрации можно рассчитать по формуле:

$$K_{\phi} = V_{\phi} \frac{Ly}{P} \text{ (см/с)}. \quad (5)$$

В результате расчета по формулам (2), (5) получены зависимости скорости фильтрации (рис. 2 – зависимость скорости фильтрации жидкости верхним слоем от прикладываемой внешней нагрузки) и коэффициента фильтрации материалом верхнего слоя двухслойного пакета от прикладываемой внешней нагрузки (рис. 3 – зависимость коэффициента фильтрации жидкости верхним слоем от прикладываемой внешней нагрузки).

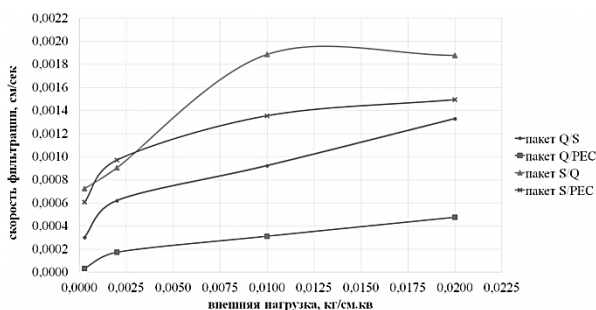


Рис.2

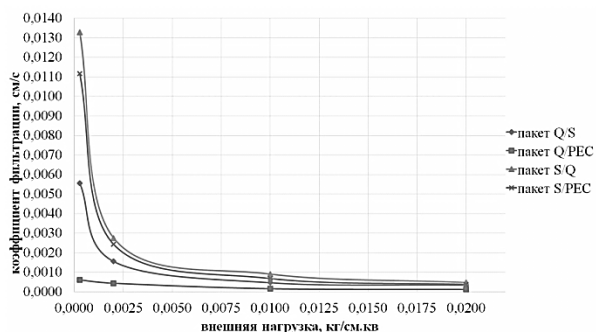


Рис.3

Скорость фильтрации показывает, какой объем жидкости проходит через единицу площади материала в единицу времени. Низкой скоростью фильтрации обладает пакет Q/PEC. Нижний слой пакета, полученный из нитей Quick Dry, обладает высокой влагоудерживающей способностью благодаря наличию большого количества мелких капилляров на боковых стенках элементарных нитей [8...10], внутри которых удерживается сконденсированная жид-

кость. Верхний слой из традиционной полиэфирной нити имеет макропористую структуру, малое объемное заполнение, что затрудняет процесс механического захватывания частиц воды материалом. Это подтверждается последующим расчетом коэффициента влагоотдачи.

Максимальной скоростью фильтрации обладает пакет S/Q, благодаря высоким сорбционным свойствам материала верхнего слоя из нитей Quick Dry, происходит капиллярная конденсация поглощаемых паров воды из нижнего слоя в межпоровом пространстве и микрокапиллярах.

Коэффициент фильтрации отражает скорость фильтрации жидкости в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна при градиенте напора, равном единице. На графике представлена кинетика изменения коэффициента фильтрации в зависимости от прикладываемой внешней нагрузки. Коэффициент фильтрации существенно различим при малом внешнем давлении: максимальное значение характерно для пакета S/Q, однако при увеличении градиента напора больше 2 (соответствует нагрузке 0,01 кг/см<sup>2</sup>) материалы верхнего слоя ведут себя одинаково. Коэффициент фильтрации при градиенте напора, равном единице (нагрузка 0,005 кг/см<sup>2</sup>), составляет для пакетов с верхним слоем материала из традиционной полиэфирной нити  $K_{\phi}(Q/PEC) = 0,00035$  см/с, для пакета  $K_{\phi}(S/PEC) = 0,0011$  см/с, для пакетов с верхним слоем из микрофиламентной нити  $K_{\phi}(Q/S) = 0,0075$  см/с, для пакета с верхом из нити Quick Dry  $K_{\phi}(S/Q) = 0,0125$  см/с. Таким образом, высокими транспортными свойствами обладает пакет S/Q с нижним слоем из микрофиламентной нити и с верхним слоем из нити Quick Dry.

Влагоотдачу нижнего слоя пакета можно оценить по коэффициенту влагоотдачи (формула (6)), рассчитываемому как отношение объема перешедшей во второй слой материала воды  $V_0$  за время  $T$ , равное моменту достижения максимального влагосодержания верхнего слоя, к объему сухого нижнего образца  $V_M$ :

$$K_B = \frac{V_0}{V_M}. \quad (6)$$

Зависимость коэффициента влагоотдачи нижнего слоя от прикладываемой внешней нагрузки (рис. 4 – зависимость коэффициента влагоотдачи жидкости нижним слоем пакета от прикладываемой нагрузки) показывает, что пакеты с нижним слоем из полотна Quick Dry имеют низкий показатель влагоотдачи при нагрузках, обеспечивающих минимальное контактное примыкание двух слоев (минимальное нагружение).

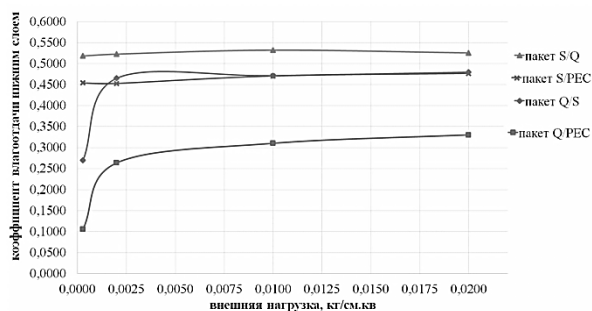


Рис.4

## ВЫВОДЫ

Предложен метод оценки показателей влагопереноса текстильных двухслойных пакетов, сформированных из трикотажных полотен из функциональных нитей, на базе экспериментальных данных. Предложено в качестве параметров оценки влагопереноса рассчитывать скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних слоев пакета, коэффициент влагоотдачи – для материалов нижних слоев пакета. Установлено, что при формировании пакета материалов для спортивной одежды и обуви с нижним слоем, прилегающим к коже человека, из микрофиламентной нити и верхним слоем материала из нитей Quick Dry можно ожидать более быстрое удаление влаги из пододежного пространства и обеспечить комфортные условия носки.

## 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. Asfand N., Basra S.A. Analysis of textile capillarity evaluation methods: literature review // The

International Young Researchers Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2020”, Kaunas, May 14 - Lithuania, 2020. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/344220269>. - Дата доступа 04.09.2022.

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

4. 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.

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

6. Леонтьев Н. Е. Основы теории фильтрации. – 2-е изд. – М.: МАКС Пресс, 2017.

7. ГОСТ Р 52608-2006 "Материалы геотекстильные. Методы определения водопроницаемости".

8. Brojeswari Das, A. Das, V.K. Kothari, R.Fanguiero, M. de Araújo Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play // AUTEX Research Journal. – 2007. - Vol. 7, No2. Режим доступа: [www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf](http://www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf). – Дата доступа 10.08.2022.

9. Mayur B, Mrinal C, Saptarshi M, R Adivarekar. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. Curr Trends Fashion Technol Textile Eng. 2018; 3(3): 555611. DOI: 10.19080/CTFTTE. 2018.03.555611.

10. 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.

## REFERENCES

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. Asfand N., Basra S.A. Analysis of textile capillarity evaluation methods: literature review // The International Young Researchers Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2020”, Kaunas, May 14 - Lithuania, 2020, available at: <https://www.researchgate.net/publication/344220269>
3. Yasinskaya N.N., Olshansky V.I., Kogan A.G. Composite textile materials: [monograph] / N.N. Yasinskaya, – Vitebsk: VGTU, 2016..
4. 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.

5. Kostyukevich, V.V. Production of special fibers and threads with functional properties at OJSC "SvetlogorskKhimvolokno" // Petrochemistry-2019: 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.

6. Leontiev N. E. Fundamentals of the theory of filtration / 2nd ed. - Moscow: MAKS Press, 2017.

7. GOST R 52608-2006 "Geotextile materials. Methods for determining water permeability.

8. Brojeswari Das, A. Das, V.K. Kothari, R.Fanguiero, M. de Araújo Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission

and the factors at play // AUTEX Research Journal. – 2007. - Vol. 7, No, available at: [www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf](http://www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf).

9. Mayur B, Mrinal C, Saptarshi M, R Adivarekar. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. Curr Trends Fashion Technol Textile Eng. 2018; 3(3): 555611. DOI: 10.19080/CTFTTE.2018.03.555611.

10. 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. T. 52, №1. P. 28...33.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий. Поступила 27.09.22.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_45

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРАСКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

### IMPROVING THE METHOD OF ASSESSMENT AND FORECASTING COLOR CHANGES OF TEXTILE MATERIALS AND PRODUCTS

*М.В. ЗИМИНА, Л.Л. ЧАГИНА, А.Ш. ИРГАСHEBA*

*M.V. ZIMINA, L.L. CHAGINA, A.SH. IRGASHEVA*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: [ziminamv1977@rambler.ru](mailto:ziminamv1977@rambler.ru), [lyu-chagina@yandex.ru](mailto:lyu-chagina@yandex.ru), [zyuzik\\_93@mail.ru](mailto:zyuzik_93@mail.ru)

*В статье рассмотрены факторы, приводящие к изменению окраски текстильных материалов и изделий. Показана необходимость обязательного учета исследуемого свойства для определенного ассортимента изделий. Проведен анализ современных отечественных и зарубежных научных исследований, направленных на совершенствование оценки изменения цветовых характеристик/ Рассмотрены стандартные методы определения устойчивости окраски к действию света и светопогоды, приведены их основные особенности. Разработан экспресс-метод оценки изменения окраски текстильных материалов с использованием современных компьютерных технологий. В качестве критерия изменения окраски предлагается использовать показатель цветостойкости, определяющий изменение яркостей цифровых изображений при действии света и светопогоды. Сущность оценки заключается в количественном определении разницы яркостей контрольного и подвергнутого длительной инсоляции образца с использованием RGB-характеристик цифровых изображений. Программа "Экспресс-оценка цветостойкости" создана с использованием инструментария программного пакета*

*объектного программирования "Delphi 7". Предлагаемый метод реализует возможность прогнозирования цветостойкости и может быть использован для оценки как текстильных материалов, так и полимеров, лакокрасочных покрытий и т.д.*

*The article considers the factors leading to a change in the color of textile materials and products. The necessity of mandatory accounting of the investigated property for a certain range of products is shown. The analysis of modern domestic and foreign scientific research aimed at improving the assessment of changes in color characteristics is carried out, standard methods for determining the color stability to the action of light and light weather are considered, their main features are given. An express method for assessing the change in the color of textile materials using modern computer technologies has been developed. As a criterion for color change, it is proposed to use the color fastness index, which determines the change in the brightness of digital images under the action of light and light weather. The essence of the assessment is to quantify the difference between the brightness of the control and the samples subjected to prolonged insolation using RGB characteristics of digital images. The program "Expert assessment of color fastness" was created using the tools of the Delphi 7 object programming software package. The proposed method implements the possibility of predicting color fastness and can be used to evaluate both textile materials and polymers, paint coatings, etc.*

**Ключевые слова:** устойчивость окраски, светопогода, автоматизированный метод, цветостойкость, экспресс-оценка, RGB-характеристики изображения, прогнозирование.

**Keywords:** color stability, light weather, automated method, color fastness, express assessment, RGB image characteristics, forecasting.

#### *Введение*

При эксплуатации текстильных изделий материалы испытывают влияние световых лучей, влаги, температуры, механических усилий и различных химических веществ и т.д. Под влиянием этих факторов происходит необратимое изменение цвета материала. Устойчивость окраски текстильного материала является значимым показателем эстетических свойств изделия, важным потребительским требованием и в соответствии с российскими и международными стандартами оценивается к различным видам воздействий: свету, светопогоде, дистиллированной воде, мыльному или содовому раствору, сухому или мокрому трению, поту и т.д.

Для некоторых видов текстильных изделий цветостойкость материала имеет определяющее значение, обеспечивая не только эстетические, но и защитные свойства. Например, при использовании в военных

целях полевого обмундирования, маскировочных сетей, автомобильных тентов и т.п. сохранение первоначального вида защитно-маскировочной, как правило, камуфляжной расцветки, применяемой для снижения заметности объекта, является первоочередным требованием. Даже небольшие отклонения от первоначальных параметров цвета материала могут существенно ухудшить защитные свойства изделий и сделать их непригодными для дальнейшего использования. В этом случае высокая устойчивость цвета в процессе эксплуатации обеспечивает качественное выполнение возложенных на материал функций, а его цветостойкость является важным критерием качества защитной экипировки.

#### *Методы*

В современной отечественной и зарубежной научной практике вопросам совершенствования методов оценки изменения цветовых характеристик уделяется боль-

шое внимание [1...9]. В работе [2] создан новый метод оценки светостойкости фотохромных тканей, направленный на замену традиционного метода инструментальным. Усовершенствование стандартного метода оценки стойкости окраски к сухому и мокрому трению осуществлено за счет выявления более предпочтительной прилегающей ткани при проведении испытания [2], [3]. Группой авторов предложен новый метод оценки прочности окраски текстиля на основе цифровых изображений, включающий разработку новой системы визуализации, и формулы с расчетами устойчивости окраски, позволяющий получить более точные результаты, чем визуальные оценки экспертов и существующих инструментальных методов ISO [5].

В работе [6] предложен метод компьютерного определения изменения окраски текстильных полотен при оценке ее устойчивости к физико-химическим воздействиям по осветлению первоначальной окраски и изменению чистоты цвета. Разработана программа, позволяющая в автоматизированном режиме рассчитать величину характеристик цветового различия [7]. Компьютерный способ оценки реализован применительно к устойчивости окраски ткани при трении о смежный материал [8]. Преимущества использования цифровых технологий для оценки изменения цвета подтверждены в работе [9].

Воздействие света и светопогоды является одним из наиболее распространенных факторов, влияющих на изменение окраски. В стандартных методах при оценке устойчивости окраски к действию света и светопогоды (ГОСТ 9733.0-83; ГОСТ Р ИСО 105-A01-99) тестируемые пробы сравнивают с индикаторами выцветания, которые экспонировались одновременно с тестируемыми пробами. Изменение окраски может проявиться в виде изменения яркости, оттенка, чистоты или комбинации этих свойств. Оценка проводят по видимому контрасту между окраской проб до и после испытаний и визуальным сравнением с соответствующей шкалой. При инструментальном методе определения изменения окраски (ГОСТ Р ИСО 105-A05-

99) с помощью спектрометра или колориметра измеряют цветовое различие по светлоте, насыщенности и цветовому тону исследуемых образцов.

При экспертном методе с использованием визуальной оценки имеет место субъективный человеческий фактор, снижающий достоверность оценки, и относительная длительность испытания. Инструментальная оценка требует наличия дорогостоящего оборудования.

Проведенный анализ научных работ показал, что объективность и достоверность сведений о свойствах текстильных материалов во многом определяется применяемым методом оценки. В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в области развития материаловедения является совершенствование оценки свойств текстильных материалов за счет использования компьютерной техники и информационных технологий [6...13].

#### *Результаты*

Целью данной работы явилось создание экспресс-метода оценки изменения окраски различных материалов с использованием современных компьютерных технологий. В предлагаемом методе в качестве отклика на воздействие длительной естественной инсоляции рассматривается цветостойкость – степень сопротивления окраски покрытия к выцветанию при воздействии на материал солнечных лучей и светопогоды.

Солнечный свет представляет собой поток частиц, каждая из которых обладает некоторой энергией. Когда частица достигает поверхности изделия, ее энергия поглощается молекулой краски. Этот процесс активизирует в молекуле электроны, которые, переходя в другое энергетическое состояние, нарушают устоявшиеся химические связи и молекулярные цепочки, в результате чего происходит разрушение пигментов краски. Соответственно цвет покрытия меняется, теряет свою яркость и насыщенность.

В качестве критерия изменения окраски предлагается использовать показатель цветостойкости, определяющий изменение яркостей цифровых изображений при действии света и светопогоды. Сущность

оценки заключается в количественном определении разницы яркостей контрольного и подвергнутого длительной инсоляции образцов с использованием RGB-характеристик цифровых изображений. Модель RGB применяется при описании цветов, получаемых смешиванием трех лучей: красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue). Данная модель является самой популярной и подходит для описания всех цветов, видимых на мониторе, телевизоре, видеопроекторе, а также создаваемых при сканировании изображений [14], [15].

Величины яркостей цифровых изображений ( $Y$ ) контрольного и опытного образцов рассчитываются по следующей формуле [14], [16]:

$$Y = 0,213S_R + 0,715S_G + 0,072S_B, \quad (1)$$

где  $S_R, S_G, S_B$  – усредненные значения RGB-характеристик точек (пикселей) цифровых изображений.

Разница значений величин яркостей цифровых изображений ( $YR, \%$ ) рассчитывается по формуле:

$$YR = 100 - Y_o / Y_k \cdot 100, \quad (2)$$

где  $Y_o, Y_k$  – величины яркостей изображений опытного и контрольного образцов.

Для получения экспериментальных данных проведена оценка цветостойкости нескольких видов текстильных материалов, подвергшихся инсоляции в течение 5 месяцев в весенне-летний период. RGB-характеристики вычисляли в "ручном" режиме с дискретностью в один месяц с использованием программного пакета "Photoshop CS6". С целью разработки оценочной шкалы предварительно выявлено соответствие расчетных величин  $YR$  и результатов экспертного исследования (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Степень цветостойкости	Изменение яркости цифровых изображений, %
Высокая	до 4,0
Средняя	4,0...15,0
Низкая	более 15,0

Разработка оценочной шкалы позволяет исключить привлечение экспертов при оценке других текстильных материалов, предполагающихся к исследованию.

Вышеприведенный способ определения изменения окраски требует значительных временных затрат, поэтому с целью их минимизации с использованием инструментария программного пакета объектного программирования "Delphi 7" разработана программа "Экспресс-оценка цветостойкости" [17] для автоматизированного определения RGB-характеристик изображений, последующего расчета и сравнения величин яркостей изображений опытного и контрольного образцов материалов.

Функционал и порядок работы с программой "Экспресс-оценка цветостойкости" состоит в следующем.

При запуске программы "Экспресс-оценка цветостойкости" открывается главное интерфейсное окно. В данном окне расположены кнопки "О программе", "Информация", "Загрузить опытный образец", "Загрузить контрольный образец", "Очистить все", "Прогнозирование" и "Выход".

При нажатии кнопок "Загрузить опытный/контрольный образец" появляется диалоговое окно для выбора файлов формата "\*.bmp", содержащих изображения текстильного материала. После загрузки изображений и выбора с помощью манипулятора мыши оцениваемой области изображений программа автоматически проводит расчет RGB-характеристик точек выделенной области. Дополнительно происходит отображение усредненного значения и расчетной величины разницы яркостей  $YR$  (рис. 1).

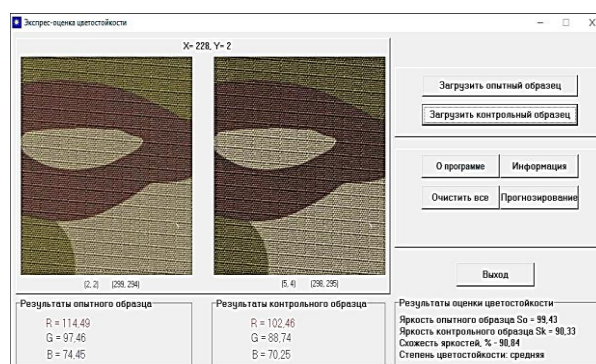


Рис. 1

При нажатии кнопки "О программе" выводится окно с краткой инструкцией по работе программного продукта, а при нажатии кнопки "Информация" выводится текст, содержащий расчетные значения и возможностью ввода, удаления и редактирования информации.

С использованием данного программного продукта возможно вычисление изменения яркости материала за время, последующее после окончания эксперимента. Прогнозирование изменения яркости проводится с использованием автоматически полученных регрессионных моделей (линейная, гиперболическая, степенная, показательная, экспоненциальная, логарифмическая, параболическая функции). Зависимости приводятся в окне "Прогнозные модели", а требуемые величины получают путем ввода предполагаемого времени наблюдения, номера модели и нажатия кнопки "Прогнозное значение". Программное обеспечение позволяет представить изменение величины яркости изображения опытного образца материала в виде графика, где по шкале абсцисс происходит увеличение времени испытаний и/или прогнозного времени, а по оси ординат представлены величины яркости изображений (рис. 2).

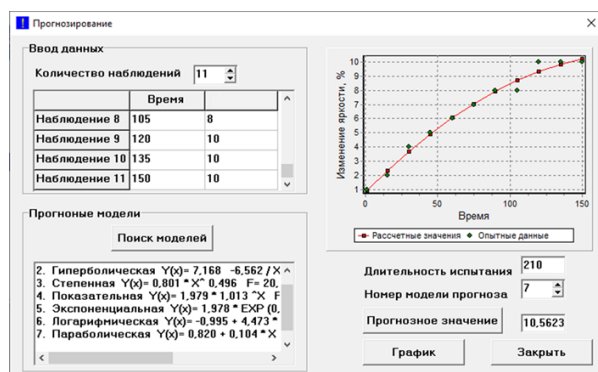


Рис. 2

Предлагаемый метод и программное обеспечение исключают необходимость применения дорогостоящего оборудования и привлечения высококвалифицированного персонала для проведения экспериментальных исследований, а использование программного продукта "Экспресс-оценка цветостойкости" позволяет минимизировать

временные затраты при проведении оценки цветостойкости материалов и изделий, обеспечивая достаточную точность оценки при вложении минимальных материальных затрат.

## ВЫВОДЫ

Итогом работы является создание экспресс-метода оценки изменения окраски различных материалов с использованием современных компьютерных технологий. В предлагаемом методе в качестве отклика на воздействие длительной естественной инсоляции рассматривается цветостойкость – степень сопротивления окраски покрытия к выцветанию при воздействии солнечных лучей на материал и светопогоды. Сущность оценки заключается в количественном определении разницы яркостей контрольного и подвергнутого длительной инсоляции образцов с использованием RGB-характеристик цифровых изображений. С использованием инструментария программного пакета объектного программирования "Delphi 7" разработана программа "Экспресс-оценка цветостойкости" [17] для автоматизированного определения RGB-характеристик изображений, последующего расчета и сравнения величин яркостей цифровых изображений. Предлагаемый программный продукт реализует возможность прогнозирования изменения исследуемой характеристики и может быть использован для оценки как текстильных материалов, так и полимеров, лакокрасочных покрытий и т.д.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kitaguchi S., Kuramoto K., Moridera H., & Sato T. (2012). Evaluation of instrumental methods for assessing colour fastness. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 5(4), 399–409. <https://doi.org/10.3993/jfbi12201205Aldib>, M. (2015). An investigation of an instrument-based method for assessing colour fastness to light of photochromic textiles. *Coloration Technology*, 131(4), 298–302. <https://doi.org/10.1111/cote.12156>.
2. Suganuma, K. (2015). Improvement of the standard method for assessing colour fastness to wet rubbing. *Coloration Technology*, 131(5), 403–411. <https://doi.org/10.1111/cote.12170>.
3. Suganuma, K. (2013). Effect of the rubbing force on dry rubbing fastness with various white

cloths. *Coloration Technology*, 129(6), 443–447. <https://doi.org/10.1111/cote.12053>.

4. Lisiak-Kucinska, A. (2016). Colour fastness to rubbing. Discussion of selected standard methods. *Przegląd Włokienniczy*, 70(12), 40–42. <https://doi.org/10.15199/60.2016.12.5>

5. Luo, M. R., Cui, G., Rigg, B., & Dakin, J. (2004). A new method for assessing textile fastness based on digital imaging. In *CGIV 2004 - Second European Conference on Color in Graphics, Imaging, and Vision and Sixth International Symposium on Multispectral Color Science* (pp. 479–483).

6. Способ компьютерного определения изменения окраски текстильных полотен при оценке ее устойчивости к физико-химическим воздействиям : пат. России / Н. Н. Барашкова, О. А. Шаломин, Б. Н. Гусев, А. Ю. Матрохин ; правообладатель ГОУ ВПО "Ивановская государственная текстильная академия. – № 2439560; заявл. 15.07.2010; регистр. 10.01.2012.

7. Автоматизированная оценка цветовых различий материалов: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014614994 / С. Н. Титов, Е. Н. Борисова ; правообладатель ГОУ ВПО "Костромской государственный технологический университет". – № 201461230; заявл. 19.03.2014; регистр. 15.05.2014.

8. Воронин С.Ю., Павлов С.В., Ефимова О.Г., Дружкова А.В. Компьютерный способ оценки устойчивости окраски ткани при трении о смежный материал /// Хроники объединенного фонда электронных ресурсов. Наука и образование. – 2017, №6(97). С. 2. EDN ZREFNF.

9. Gerasimenko N.I., Raikova E.Yu. Digital Technology for Assessing the Color of Textile Materials // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. – 2020. Vol. 10. No 2. P. 277...280. – DOI 10.35940/ijeat.B2089.1210220. – EDN XKDWAC.

10. Копарева Е.М., Зими́на М.В., Титов С.Н., Чагина Л.Л. Использование принципов автоматизированного распознавания оптических изображений для оценки стабильности структуры трикотажных полотен // *Технологии и качество*. – 2021, № 1(51). С. 4...8.

11. Копарева Е.М., Титов С.Н., Чагина Л.Л., Смирнова Н.А. Расчетный метод определения деформации растяжения текстильных полотен // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 6. С. 135...138. – EDN XXAIED.

12. Груздева А.П., Зими́на М.В., Чагина Л.Л., Богатырева М.С. Построение методики исследования деформационных свойств тентовых материалов при двухосном циклическом растяжении// *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2022, № 1. С. 107...114.

13. Зими́на М.В., Груздева А.П., Чагина Л.Л. Методика исследования и прогнозирования характеристик жесткости при изгибе материалов для проектирования адаптивной одежды людей с ограниченными двигательными возможностями // *Технология и качество*. – 2021, №4(54). С.22...29.

14. Демин А.Ю. Основы компьютерной графики. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.

15. Фленов М.Е. Библия Delphi. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007.

16. PLANETCALC. Относительная яркость и контрастность цветов [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <http://planetcalc.ru/7779> (дата обращения: 19.03.2022).

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662967 Программа "Экспресс-оценка цветостойкости": № 2022662409; заяв. 01.07.2022; зарег. 08.07.2022/Зими́на М.В., Муканов Р.А., Чагина Л.Л.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромской государственный университет" (КГУ).

## REFERENCES

1. Kitaguchi S., Kuramoto K., Moridera H., & Sato T. (2012). Evaluation of instrumental methods for assessing colour fastness. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 5(4), 399–409. <https://doi.org/10.3993/jfbi12201205Aldib>, M. (2015). An investigation of an instrument-based method for assessing colour fastness to light of photochromic tex-tiles. *Coloration Technology*, 131(4), P. 298...302. <https://doi.org/10.1111/cote.12156>.

2. Suganuma K. (2015). Improvement of the standard method for assessing colour fastness to wet rubbing. *Coloration Technology*, 131(5), P. 403...411. <https://doi.org/10.1111/cote.12170>.

3. Suganuma K. (2013). Effect of the rubbing force on dry rubbing fastness with various white cloths. *Coloration Technology*, 129(6), P. 443...447. <https://doi.org/10.1111/cote.12053>.

4. Lisiak-Kucinska A. (2016). Colour fastness to rubbing. Discussion of selected standard methods. *Przegląd Włokienniczy*, 70(12), P. 40...42. <https://doi.org/10.15199/60.2016.12.5>

5. Luo M. R., Cui G., Rigg B., & Dakin J. (2004). A new method for assessing textile fastness based on digital imaging. In *CGIV 2004 - Second European Conference on Color in Graphics, Imaging, and Vision and Sixth International Symposium on Multispectral Color Science* P. 479...483.

6. A method for computer determination of the change in the color of textile fabrics when assessing its resistance to physical and chemical influences: pat. Russia / N. N. Barashkova, O. A. Shalomin, B. N. Gusev, A. Yu. Matrokhin ; copyright holder of the Ivanovo State Textile Academy. – No. 2439560; application 15.07.2010; register. 10.01.2012.

7. Automated assessment of color differences of materials: certificate of state registration of computer program No. 2014614994 / S. N. Titov, E. N. Borisova ; copyright holder of the State Educational Institution "Kostromsky State Technological University". – No.

201461230; application 19.03.2014; register. 05/15/2014.

8. Computer method for assessing the stability of fabric staining when rubbing against adjacent material / S. Y. Voronin, S. V. Pavlov, O. G. Efimova, A. V. Druzhkova // Chronicles of the United Fund of Electronic Resources Science and Education. – 2017. – № 6(97). – P. 2. – EDN ZREFNF.

9. Gerasimenko N.I., Raikova E.Yu. Digital Technology for Assessing the Color of Textile Materials // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2020. – Vol. 10. – No 2. – P. 277...280. – DOI 10.35940/ijeat.B2089.1210220. – EDN XKDWAC.

10. Kopareva E.M., Zimina M.V., Titov S.N., Chagina L.L. Using the principles of automated recognition of optical images to assess the stability of the structure of knitted fabrics // Technologies and quality. – 2021. – № 1(51). – P. 4...8.

11. Kopareva E.M., Titov S.N., Chagina L.L., Smirnova N.A. Calculation method for determining the deformation of the weight of textile fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020. – № 6(390). – P. 135...138. – EDN XXAIED.

12. Gruzdeva A.P., Zimina M.V., Chagina L.L., Bogatyreva M.S. Construction of a methodology for studying the deformation properties of tent materials under two-axis cyclic stretching // Izvestiya Vysshikh

Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, № 1. P. 107...114.

13. Zimina M.V., Gruzdeva A.P., Chagina L.L. Methods of research and forecasting the characteristics of stiffness in bending materials for designing adaptive clothing for people with limited motor capabilities // Technology and quality. – No.4(54).2021. P..22...29.

14. Demin A.Yu. Fundamentals of computer graphics. - Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2011. - 191 p.

15. Flenov M.E. The Delphi Bible. - St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2007.

16. PLANETCALC. Relative brightness and contrast of colors [Electronic resource]. – 2017. – URL: <http://planetcalc.ru/7779> (date of application: 03/19/2022).

17. Certificate of state registration of the computer program No. 2022662967 Program "Express assessment of color fastness": No. 2022662409; application. 01.07.2022; zareg. 08.07.2022/Zimina M.V., Mukanov R.A., Chagina L.L.; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State University" (KSU). 1 p.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 10.11.22.

УДК 687.03

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_51

## ОЦЕНКА СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУР\*

### EVALUATING THE PROPERTIES OF MULTILAYER MEMBRANE TEXTILE MATERIALS WITH DIFFERENT STRUCTURES

*Д.К. ПАНКЕВИЧ, Е.И. ИВАШКО, В.Г. КУДРИЦКИЙ*

*D.K. PANKEVICH, E.I. IVASHKO, V.G. KUDRITSKIY*

**(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,  
Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси)**

**(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,  
Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus)**

E-mail: dashapan@mail.ru; ivashkokatrinka@mail.ru; vladukas@mail.ru

***В процессе работы проведена оценка водозащитной функции, теплозащитности и паропроницаемости многослойных мембранных текстильных материалов. Выполнена микроскопия материалов с последующей***

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).



*группировкой образцов по типу структуры. Проанализированы условия эксплуатации водонепроницаемой демисезонной одежды для моделирования их в процессе испытаний. Предложены новая методика и критерий оценки водозащитной способности материалов и алгоритм действий по его определению. Для оценки свойств многослойных мембранных текстильных материалов были выбраны базовые значения единичных показателей. Определены коэффициент водопаропроницаемости, суммарное тепловое сопротивление и критерий полноты реализации водозащитной функции материалов, содержащих полиэфирные текстильные и полиэфируретановые мембранные слои различных структур. Установлено, что материалы с пористой мембраной сетчатой структуры и материалы с комбинированной мембраной, состоящей из монолитного непористого и сетчатого слоев, обладают наиболее высокой водозащитной способностью, паропроницаемостью и тепловым сопротивлением, что позволяет рекомендовать их для изготовления водозащитной демисезонной одежды.*

*In the process of work, the waterproofing function, thermal protection and vapor permeability of multilayer membrane textile materials were evaluated. Microscopy of materials with subsequent grouping of samples according to the type of structure was performed. Operating conditions of waterproof demi-seasonal clothing are analyzed to simulate them in the process of testing. A new methodology and criterion for assessing the water resistance of materials and an algorithm of actions for its determination have been proposed. The basic values of unit indices have been chosen to estimate the properties of multilayer membrane textile materials. Coefficient of water-permeability, total thermal resistance and criterion of completeness of water-protective function realization of materials containing polyester textile and polyetherurethane membrane layers of different structures are determined. It has been established that materials with a porous mesh structure membrane and materials with a combined membrane consisting of monolithic non-porous and mesh layers have the highest waterproofing capacity, vapor permeability and thermal resistance, which allows recommending them for manufacturing waterproof demi-seasonal clothing.*

**Ключевые слова:** водозащитные свойства, мембрана, структура, водопаропроницаемость, суммарное тепловое сопротивление, критерий полноты реализации водозащитной функции.

**Keywords:** waterproofing properties, membrane, structure, water vapor permeability, total thermal resistance, criterion of completeness of water-protective function.

#### *Введение*

Сегодня понимание потребительских свойств материалов для одежды претерпело изменения. Смена модели потребления, развитие способов торговли и коммуникации с потребителем, появление новых высокотехнологичных продуктов, повышение требовательности покупателя и формирование ответственного отношения к потреблению [1] приводят к тому, что каждый

покупатель одежды хочет и имеет право точно знать, какие именно функции она гарантированно способна выполнить, как долго и при каких условиях.

Поэтому при исследовании и оценке свойств материалов для одежды необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации, в которых материалы проявляют комплекс потребительских свойств как набор полезных для потребителя



функций, четко определенных на всех промежутках многофакторного пространства условий использования [2].

Благодаря развитию технологий получения композиционных материалов, сегодня удается добиваться многофункциональности при сохранении базовых свойств текстильных материалов: прочности, гибкости, легкости.

Особенный класс многофункциональных материалов, интерес к которому в настоящее время неуклонно растет, представлен широким ассортиментом материалов, которые получены как объемное сочетание текстильных полотен и тонких полимерных пленок – мембран, обладающих способностью пропускать пары влаги, но препятствовать проникновению воды и потока воздуха [3]. Такие материалы называют многофункциональными, поскольку они выполняют в одежде сразу несколько функций. Многофункциональный текстильный материал – это текстильный материал, который проявляет несколько отличных от эстетических полезных для потребителя функций, набор и механизм действия которых четко определен, заранее задан и поддается измерению. Многофункциональность мембранных текстильных материалов обеспечивается вариативностью структур и взаимного расположения составляющих их слоев и проявляется в сочетании свойств: растяжимость, водо- и воздухопроницаемость, паропроницаемость, высокий уровень теплозащитных свойств при относительно малой толщине и поверхностной плотности. Они открывают перед производителями одежды заманчивые перспективы создания легкой и комфортной одежды различного назначения, технологический процесс изготовления

которой ограничивается проектированием, раскроем и соединением единого покровного пакета материалов, содержащего в себе и ветро-влажностный, и подкладочный, и прокладочный, и утепляющий слои. Это значительно удешевляет процессы проектирования и конструкторско-технологической подготовки швейного производства, подготовки материалов к раскрою, раскрою и пошива изделий.

Ассортимент многослойных мембранных текстильных материалов очень широк, разнообразны и типы структур таких материалов, а опыт их применения в качестве материалов для одежды в Республике Беларусь ограничен, поэтому важной научной задачей является оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов различных структур в конкретных условиях внешней среды для формирования рекомендаций по области их применения.

Цель исследования – оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов, предназначенных для изготовления демисезонной одежды, как функций, проявляющихся в конкретных условиях эксплуатации.

#### *Объекты испытаний*

Для поведения испытания были отобраны образцы многослойных мембранных текстильных материалов, содержащих полиэфируретановые мембраны и полиэфирные текстильные слои, производства "Taslan" (Китай), "Hipora", "Ultrex" (Республика Корея), предназначенных для комплектации изделий легкой промышленности на швейных предприятиях Республики Беларусь. Характеристика образцов представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Структура					
		текстильного тканого (трикотажного) слоя				мембраны	
		толщина (лицо / изнанка), мм	переплетение нитей (лицо / изнанка)	количество нитей (петель) на 10 см		толщина слоев, мм	
по основе (столбиков) лицо / изнанка	по утку (рядов) лицо / изнанка			пористого	монолитного		
1	245	0,42/ 0,22	кулирное двойное / кулирное комбинированное прессжаккардовое нерегулярное	(210)/ (160)	(230)/ (180)	0,02	нет

2	305	0,32/ 0,22	семигольное трико / гладкое платирированное основовязанное	(130)/ (130)	(210)/ (150)	0,05	0,02
3	274	0,24/ 0,38	одинарное поперечно- соединенное / двуласт- тичное	(210)/ (230)	(300)/ (230)	0,03	нет
4	328	0,30/ 0,72	кулирн. гладь / сочета- ние поперечносоеди- ненного и плюшевого	530/ 130	320/ 160	0,03	нет
5	270	0,41/ 0,38	сочетание поперечносо- единенного и плюше- вого / ластик 1+1	(130)/ (200)	(150)/ (380)	нет	0,04
6	338	0,32/ 0,65	полотняное / двуласт- тичное с подворсовкой	500/ (280)	420/ (340)	0,08	нет

### Методы исследований

Анализ литературных источников [4...6] показал, что демисезонная одежда эксплуатируется при температуре наружного воздуха от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ , при интенсивном обветривании, воздействии дождя и иногда снега, при относительной влажности воздуха от 62 до 89% и высокой облачности [4]. Среднее время носки демисезонной одежды в условиях открытого воздуха обычно составляет не более 2 часов.

Поэтому в качестве определяющих показателей эксплуатационных свойств или критических функций материалов данного назначения выбрали новый критерий полноты реализации водозащитной функции [7] за 2 часа, коэффициент водопаропроницаемости и тепловое сопротивление, исследуемые в условиях, близких к эксплуатационным.

Выбор нового критерия и методики оценки водозащитных свойств многослойных материалов обусловлен в первую очередь невозможностью применения стандартных методов исследования, поскольку капли воды, прошедшие сквозь многослойный композиционный материал, не визуализируются, а капиллярно впитываются изнаночной стороной композита.

В основу методики оценки полноты реализации водозащитной функции положен метод электрогидродинамической аналогии [7], который может быть реализован с помощью прибора, разработанного на кафедре "ТРИТ" Витебского государственного технологического университета [8]. Прибор позволяет вести наблюдение за процессом промокания материала при подаче на лицевую сторону образца мате-

риала заданного гидростатического давления. Это возможно благодаря датчику-водоснимателю, установленному в крышке прибора, соприкасающейся с изнаночной стороной образца материала, намокающего под действием гидростатического давления. В электрическую цепь прибора подключают параллельно источник тока с напряжением 10 В и цифровой мультиметр (типа АРРА-207) с программным обеспечением, которое автоматически регистрирует силу тока в системе "вода-образец-датчик" каждые 0,5 с с точностью 0,004 мА.

Промокание материалов по разработанной методике наблюдают при давлении промокания  $P_p$ , которое определяют путем дискретного повышения давления со скоростью 0,1 МПа в минуту до изменения силы тока свыше 0,004 мА, либо при заданном требуемом давлении  $P_t$ . При этом регистрируют время наступления следующих стадий намокания:

$t_1$  – начало точечного насыщения материала влагой – соответствует возникновению в сети тока силой 0,1 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 3 до 9%;

$t_2$  – полное насыщение материала влагой – соответствует возникновению в сети тока силой 0,15 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 10 до 36%;

$t_3$  – начало сквозного промокания – соответствует возникновению в сети тока силой 0,2 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 37 до 65%;

$t_4$  – сквозное промокание – соответствует возникновению в сети тока силой 0,25 мА. Информация о кинетике промокания, полученная по разработанной методике, дает возможность визуализировать индиви-

дуальный характер процесса промокания текстильных материалов путем построения графика, изображенного на рис. 1 (график функции времени промокания материалов).

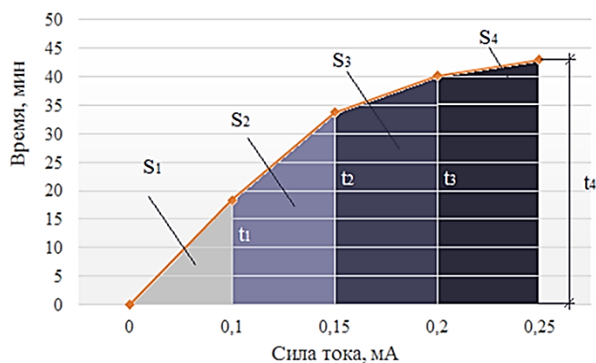


Рис. 1

График функции делит область построения на два участка: верхний левый (над графиком) площадью  $S_v$  и нижний правый площадью  $S_n$  (под графиком). Чем больше общая площадь  $S$  прямоугольника области построения, тем медленнее промокает материал. Чем меньше площадь  $S_n = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$  и чем ближе график функции к оси абсцисс, тем выше интенсивность промокания на начальных стадиях, это означает, что носчик начнет раньше ощущать дискомфорт в водозащитной одежде из такого материала. Если график функции расположен ближе к оси ординат, то длительное время материал будет практически сухим изнутри. Критерием  $K$  полноты реализации водозащитной функции материалов при требуемом давлении  $P_t$  промокания является рассчитываемая по графику времени промокания безразмерная величина  $S_n/S$ . Чем она ближе к единице, тем лучше материал защищает от воздействия воды при давлении  $P_t$ .

Площади участков графика рассчитываются элементарно, как сумма площадей прямоугольного треугольника и трапеций с известными длинами оснований и высот. Оценку соответствия водозащитных свойств материала назначению с использованием разработанного критерия предлагается проводить в следующей последовательности.

1. Определение требуемого уровня выдерживаемого без промокания гидроста-

тического давления  $P_t$  и требуемой длительности  $t_t$  водозащитной функции. Для исследуемого ассортимента одежды (бытовая демисезонная одежда, защищающая от атмосферных осадков) требуемый уровень выдерживаемого без промокания гидростатического давления  $P_t$  составит 0,1 МПа и требуемая длительность  $t_t$  водозащитной функции установлена 120 мин. Указанное значение  $P_t$  выбрано на основании данных исследований J. Williams, опубликованных в [5], согласно которым водонепроницаемость 0,1 МПа достаточна для защиты от умеренного дождя или снега средней интенсивности.

2. Определение давления промокания  $P_p$  по разработанной методике. При условии  $P_p \geq P_t$  определение времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  наступления стадий промокания материала при давлении  $P_t$  и расчет критерия  $K$  относительно площади прямоугольника, ограниченного по оси ординат величиной  $t_t$ , по формуле:

$$K = \frac{S_n}{0,25t_t}. \quad (1)$$

Если в течение заданного времени очередная стадия промокания не наступила, то вся оставшаяся площадь области построения считается принадлежащей участку под кривой. Поскольку неизвестно, по какой именно траектории будет развиваться график функции выше значения  $t_t$ , принято допущение, что в этом случае при расчете площади  $S_n$  время последней зарегистрированной стадии промокания следует считать точкой перегиба, в которой график строит параллельно оси ординат. То есть вся оставшаяся справа от графика площадь будет принадлежать  $S_n$ .

При условии  $P_p < P_t$  дальнейшие исследования проводить не имеет смысла, а материал использовать для данного изделия нельзя.

При изучении структуры образцов проводили исследование лицевой, изнаночной стороны и поперечного среза мембранного материала. Применяли метод сканирующей электронной микроскопии (электронный микроскоп VEGA II LSH с системой

энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD с программным обеспечением). Наблюдали поверхность мембраны и области соединения слоев между собой.

Для исследования теплоизоляционных свойств мембранных материалов применяли методику, описанную в [9]. В основу методики положен принцип нестационарного теплового режима. Его сущность заключается в определении времени охлаждения нагретого тела, изолированного от окружающей среды исследуемым материалом. Суммарное тепловое сопротивление образца  $R_{\text{сум}}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) вычисляли по формуле, предложенной в [9].

Для исследования способности многослойных мембранных текстильных материалов различных структур пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости, определяли коэффициент водопаропроницаемости в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 57514-2017 "Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия" [10]. Установленные стандартом климатические условия моделировали в климатической камере УТН-408-40-1Р ("Tuantao", Китай). Рассчитывали коэффициент водопаропроницаемости по результатам взвешивания на лабораторных электронных весах РА 214 С ("ОНАУС Corporation", США) стаканчиков с водой, закрытых исследуемыми образцами, с интервалом времени 6 часов.

Оценку каждой критической функции проводили дифференциальным методом, который подробно изложен в источнике [11]. Рассчитывали относительные показатели свойств как отношение фактических значений показателей к базовым.

Оценку полученного критерия полноты реализации водозащитной функции проводили исходя из того, что  $K=1$  – базовое значение критерия – интерпретируется как полностью реализованная водозащитная функция материала при заданных значениях давления промокания и времени защиты от воды (в течение заданного времени не наблюдали ни одной стадии промокания).

Для установления базовых значений единичных показателей паропроницаемости и теплозащитных свойств исследуемых материалов воспользовались данными из [10], [12]. Базовое значение коэффициента водопаропроницаемости в соответствии с [10] приняли на уровне  $560 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$ , базовое значение суммарного теплового сопротивления при температуре  $-5\text{°C}$  для двухчасового пребывания, рекомендуемое [12] при энергозатратах человека  $250 \text{ Вт}$ , соответствующих средней двигательной активности, приняли на уровне  $0,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

#### Результаты и обсуждения

Результаты микроскопии образцов представлены на рис. 2...4.

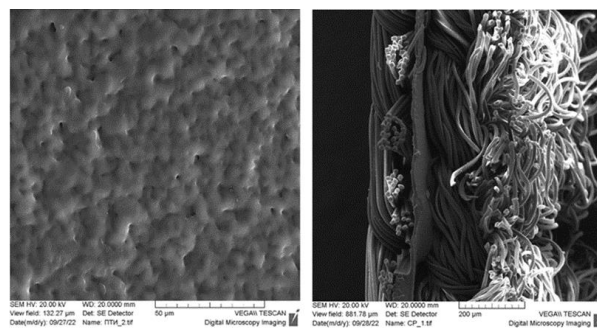


Рис. 2

На рис. 2 (поверхность  $\times 4500$ ) и поперечный срез ( $\times 1800$ ), типичные для образцов №1 и №5 представлено изображение структуры образца №1, схожей со структурой образца №5. Образцы №1 и №5 состоят из трех слоев: трикотажное полотно, мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин  $8/1/15$ , точно соединенных между собой. Толщина мембраны сопоставима с диаметром одного филамента комплексной нити трикотажного полотна. Структура мембраны изотропная, практически без пор, на поверхности мембраны наблюдаются единичные поры с диаметром устья не более  $2 \text{ мкм}$ .

На рис. 3 (поверхность  $\times 4500$ ) и поперечный срез ( $\times 450$ ) образца №2 представлено изображение структуры образца №2, состоящего из трех слоев: трикотажное полотно, мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин  $4/1/7$ , точно соединенных между собой. Мембрана у образца №2 комбинированная и состоит из двух

примерно одинаковых по толщине слоев – монолитного непористого и пористого, имеющего сетчатую структуру. Сетчатый слой мембраны обладает самой высокой пористостью среди всех рассмотренных образцов. Общая толщина мембраны сопоставима с двумя диаметрами одного филамента комплексной нити трикотажного полотна.

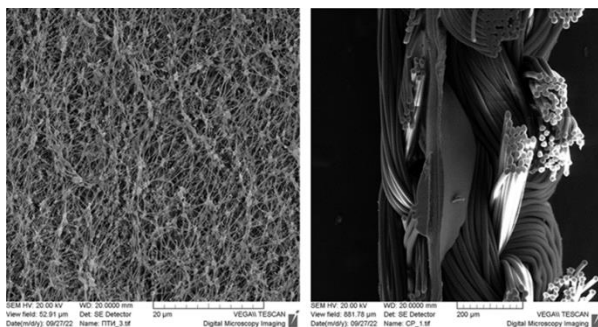


Рис. 3

На рис. 4 (поверхность ( $\times 4500$ ) и поперечный срез ( $\times 450$ ), типичные для образцов №3, №4, №6) представлено изображение структуры образца №3, схожей со структурой образцов №4, №6, которые состоят из трех слоев: трикотажное полотно (в

образце №6 – ткань), мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин 15/1/20, точно соединенных между собой. Мембрана у образцов пористая, сетчатой структуры, но, в отличие от пористого слоя мембраны образца №2, имеет более плотный застил полимерными волокнами большей толщины. Толщина мембраны сопоставима с диаметром одного филамента комплексной нити трикотажного полотна.

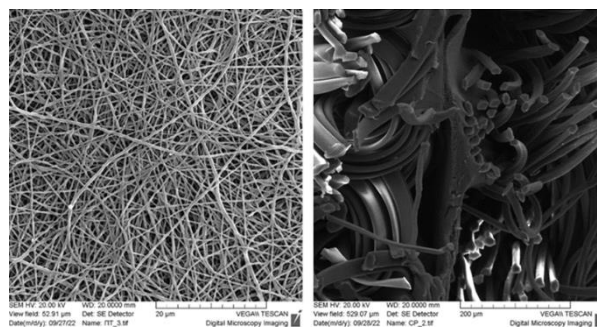


Рис. 4

Результаты исследования и оценки полноты реализации водозащитной функции при гидростатическом давлении  $P_t = 0,1$  МПа и времени промокания 120 мин представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер образца	Время наступления стадий промокания				Критерий полноты реализации водозащитной функции, К
	Начало точечного насыщения, $t_1$ , мин	Полное насыщение, $t_2$ , мин	Начало сквозного промокания, $t_3$ , мин	Сквозное промокание, $t_4$ , мин	
1	45	46	54	55	0,325
2	87	нет	нет	нет	0,745
3	68	103	нет	нет	0,656
4	53	109	нет	нет	0,624
5	Образец промок при гидростатическом давлении 0,08 МПа				0
6	62	81	118	нет	0,623

По данным табл. 2 видно, что образец №5 не прошел испытания, так как он промок насквозь при гидростатическом давлении 0,08 МПа, поэтому выбыл из исследования как не соответствующий требованиям по одной из критических функций. Образец №1 промок насквозь раньше, чем истекла половина требуемого времени, остальные образцы насквозь не промокли, но насытились влагой успели. Образец №2 реализовал свою водозащитную функцию наиболее полно при заданных условиях, поскольку для него зарегистрирована только стадия начала точечного насыщения.

Результаты испытаний по рассматриваемым показателям и оценка функциональности образцов материалов представлены в табл. 3.

Из данных табл. 2 и 3 видно, что самой высокой водозащитной способностью обладает образец №2. Относительный показатель водопаропроницаемости этого образца составляет 3,16, а относительное суммарное тепловое сопротивление 0,7. Этот образец можно рекомендовать в качестве покровного для одежды потребителей с высокими энергозатратами, увлекающихся спортом и активным отдыхом, длительное



время проводящих на открытом воздухе в движении. Модели одежды из этого материала рекомендуется проектировать с увеличенной прибавкой, чтобы при пони-

женной температуре воздуха можно было добавить дополнительный слой одежды, увеличив суммарное тепловое сопротивление пакета.

Т а б л и ц а 3

Номер образца	Критерий полноты реализации водозащитной функции	Водопаропроницаемость, г/(м <sup>2</sup> ·24ч), по ГОСТ Р 57514-2017	Относительная водопаропроницаемость	Суммарное тепловое сопротивление при температуре -5°C, R <sub>сум</sub> , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	Относительное суммарное тепловое сопротивление
1	0,325	468	0,84	0,191	0,68
2	0,745	1770	3,16	0,196	0,70
3	0,656	2726	4,87	0,211	0,75
4	0,624	2348	4,19	0,235	0,83
6	0,623	646	1,15	0,210	0,75

Несоответствие назначению по рассматриваемым критическим функциям отмечено у образца №1. Водозащитная функция этого образца реализуется неполно, паропроницаемость низкая, суммарное тепловое сопротивление недостаточное. Данный образец входил в группу схожих по структуре с образцом №5, который не выдержал испытание заданным гидростатическим давлением. Многослойные мембранные текстильные материалы подобной структуры нельзя рекомендовать для изготовления демисезонной одежды.

В группе структурно близких образцов №3, №4 и №6 получены достаточно высокие значения относительных показателей всех функций: образцы не промокают за 2 часа воздействия гидростатического давления 0,1 МПа, обладают высоким уровнем паропроницаемости, превышающим нормативное значение, а их теплозащитные свойства достаточны при условии добавления в пакет одежды одного-двух слоев. Поэтому материалы подобной структуры можно рекомендовать для изготовления демисезонной одежды.

## ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования показал, что группы образцов, объединенные по схожей структуре материала, характеризуются близкими значениями показателей критических функций.

К рекомендуемым для изготовления водозащитной демисезонной одежды можно

отнести многослойные мембранные текстильные материалы с мембранной сетчатой структурой или с комбинированной мембраной, состоящей из двух примерно одинаковых по толщине слоев – монолитного непористого и сетчатого, поскольку они обладают высоким уровнем паропроницаемости, не промокают в течение двух часов и обеспечивают довольно высокий уровень защиты от пониженной температуры наружного воздуха, а следовательно, выполняют все критические функции демисезонной одежды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шайтанова М. М. Современное понимание комплекса потребительских свойств одежды // Костюмология. – 2022. Т. 7. № 1.
2. Панкевич Д.К., Буркин А.Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. – 2022, № 2(56). С. 5...10.
3. Бешапонишкова В.И., Климова Н.А., Бешапонишкова Н.В., Ковалева Н.Е. Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С.51...54.
4. Болотко Л. М. Динамичные климатические нормы метеопараметров для г. Минска // Природные ресурсы. – 2021, № 1. С. 5...14.
5. Williams J.T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier. – Woodhead Publishing Ltd, 2018.
6. William, C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier. – Wood head Publishing Ltd, 2010.
7. Панкевич Д.К., Буркин А.Н., Леонов В.В. Оценка водозащитных свойств мембранных мате-

риалов для изделий легкой промышленности // Костюмология. – 2022. Т. 7. № 1.

8. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, патент РБ № 12855, МПК G01N15/08, заявлено 2021.15.10, опубликовано 30.04.2022, Бюл. № 2

9. Петюль И.А., Санёлко В.В. Исследование суммарного теплового сопротивления пакетов материалов альтернативными методами // Витебского государственного технологического университета. – 2019, №1 (36). С. 68...80.

10. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия, введ. 01.04.18. – М.: Стандартинформ, 2017.

11. Гличев А. В. Основы управления качеством продукции. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2001.

12. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1971.

#### REFERENCES

1. *Shaitanova M. M.* Modern understanding of the complex of consumer properties of clothing // *Kostyumologiya*. - 2022. Т. 7. № 1.

2. *Pankiewicz D.K., Burkin A.N.* The methodology of evaluating the properties of materials for waterproof clothing // *Technologies and Quality*. - 2022, № 2(56). P. 5...10.

3. *Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A., Besshaposhnikova, N.V., Kovaleva, N.E.* Effect of operational factors on the vapor permeability of membrane fabrics and clothing bags // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. - 2020, № 6. С. 51...54.

4. *Bolotko L.M.* Dynamic climatic norms of meteoroparameters for Minsk // *Natural Resources*. - 2021, №1. P. 5...14.

5. *Williams J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier. – Woodhead Publishing Ltd, 2018.

6. *William, C. Smith.* Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier. – Wood head Publishing Ltd, 2010.

7. *Pankiewicz, D.K., Burkin, A.N., Leonow, V.V.* Estimation of Waterproof Properties of Membrane Materials for Light Industry Articles // *Kostyumologiya*. - 2022. Т. 7. № 1.

8. Apparatus for determination of waterproof properties of materials by hydrostatic pressure method, Patent RB № 12855, IPC G01N15/08, applied 2021.15.10, published 30.04.2022, Bulletin № 2

9. *Petul, I.A., Sapyolko, V.V.* Investigation of total thermal resistance of packages of materials by alternative methods // *Vitebsk State Technological University*. - 2019, №1 (36). С. 68...80.

10. GOST R 57514-2017 Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions, introduced. 01.04.18. – Moscow, Standardinform, 2017.

11. *Glichev, A.V.* Fundamentals of Product Quality Management. - Moscow : RIA "Standards and Quality", 2001.

12. *Kolesnikov P.A.* Fundamentals of designing heat protective clothing. - Moscow, publishing house "light industry", 1971.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде и обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ  
ХЛОПКОЛАВСАНОВОЙ ТКАНИ  
РАЗЛИЧНОГО ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ**

**PREDICTION OF BREAKING LOAD  
OF VARIOUS PERCENTAGE COTTON AVSAN FABRIC**

*O.V. 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

*Качество смешанных хлопколавсановых тканей во многом зависит от целого ряда показателей, к которым относятся разрывная нагрузка исходной пряжи, процентное содержание натуральных и химических волокон, плотность нитей. Для решения поставленной задачи была применена теория подобия и анализа размерностей, позволяющая объединить различные факторы в единую систему, в результате чего получена функциональная зависимость, позволяющая прогнозировать разрывную нагрузку смешанной ткани.*

*The quality of mixed cotton weaves largely depends on a number of indicators, which include the breaking load of the original yarn, the percentage of natural and chemical fibers, and the density of the threads. To solve the problem, the theory of similarity and dimension analysis was applied, which allows combining various factors into a single system, as a result of which a functional dependence was obtained that allows predicting the rupture load of mixed tissue.*

**Ключевые слова:** ткань хлопколавсановая, теория подобия и анализа размерности, функциональная зависимость.

**Keywords:** cotton-grass fabric, theory of similarity and analysis of dimension, functional dependence.

*Введение*

Одним из факторов эффективного управления качеством и ассортиментом тканей является разработка их оптимального и рационального строения. В связи с этим большое значение приобретает внедрение химических волокон в состав разрабатываемых тканей. Однако от процентного состава химических волокон в составе смеси будут изменяться и физико-механические свойства текстильных материалов.

*Метод исследования*

В процессе многочисленных исследований [1...7] установлено, что наиболее значимым показателем для механических характеристик является разрывная нагрузка ткани, на которую влияют такие факторы, как разрывная нагрузка пряжи, плотность нитей по основе и утку, ширина полоски ткани, а также процентное содержание натуральных и химических волокон. Необходимо отметить, что в связи с тем, что



процентное содержание натуральных и химических волокон варьируется, необходимо учитывать плотность волокон хлопка и лавсана.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод теории подобия и анализа размерностей. Выбор данного метода объясняется тем, что при прогнозировании разрывной нагрузки ткани на ее показатели влияют несколько факторов. При решении этой задачи приходится вводить множество разнородных величин, имеющих свои размерности. При решении той или иной задачи необходимо рассматривать не отдельные используемые величины, а их совокупность.

Переход от обычных физических величин к величинам комплексного типа создает ряд важных преимуществ. В первую очередь это приводит к уменьшению числа переменных [8]. Наряду с этим, благодаря применению теории подобия, становится возможным получение бесчисленного множества различных комбинаций. Поэтому при решении данной задачи исследуется не единичный частный случай, а бесконечное множество различных факторов, которые объединяются некоторой общностью.

#### Результаты исследования

Рассмотрим применение теории подобия и анализа размерностей для определения разрывной нагрузки смешанной ткани.

В качестве объекта исследования была выработана смешанная ткань полотняного переплетения различного процентного содержания хлопковых и полиэфирных волокон. Полиэфирные волокна варьировались в интервале от 0 до 100 процентов.

Для получения общей функциональной зависимости на примере разрывной нагрузки ткани по основе предлагается использование таких факторов, как разрывная нагрузка пряжи по основе, плотность нитей по основе, ширина полосы исследуемой ткани, т.к. используется смешанная пряжа, то необходимо использовать плотность хлопковых и лавсановых волокон.

Таким образом, для получения общей зависимости предлагается использовать следующую функциональную зависимость:

$$Q_o = f(P_o, P_o, B, \rho_x, \rho_l, \%), \quad (1)$$

где  $Q_o$  – разрывная нагрузка полосы ткани, Н;  $P_o$  – разрывная нагрузка пряжи, Н;  $P_o$  – плотность нитей по основе, нитей на 10 см;  $B$  – ширина полосы ткани, 5 = см;  $\rho_x, \rho_l$  – плотность хлопковых и лавсановых волокон, 1,52 г/см<sup>3</sup> и 1,38 г/см<sup>3</sup> соответственно; % – процентное содержание натуральных и химических волокон.

Для решения поставленной задачи были определены вышеперечисленные значения, представленные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Процентное содержание хлопка	Разрывная нагрузка ткани $Q_o, Н$	Разрывная нагрузка пряжи $P_o, Н$	Плотность нитей по основе, $P_o, н/1 см$	$P_o P_o B, Н$	$(\rho_x \rho_l) / \rho_x$	Расчетная разрывная нагрузка ткани $Q_p, Н$	Отклонение, %
0	45,6	2,83	33,6	475,44	1,000	43,30	5,0
82	47,7	2,75	33,9	466,13	0,969	48,68	2,0
67	49,1	2,23	34,3	382,45	0,946	45,13	8,0
57	50,2	2,30	33,7	387,55	0,937	48,97	2,4
33	53,2	2,34	33,7	394,29	0,923	53,89	1,2
100	56,1	2,80	33,3	392,94	0,907	60,32	7,5

Представим полученную функциональную зависимость в виде двух безразмерных факторов:

$$\frac{Q_o}{P_o} = \eta_1 \eta_2, \quad (2)$$

где  $\eta_1$  – безразмерный показатель, характеризующий поверхностную плотность рассматриваемого материала;  $\eta_2$  – безразмерный показатель, характеризующий плотность хлопковых и лавсановых волокон.

Исходя из вышеизложенного, представим уравнение (2) в виде:

$$Q_0 = P_0 P_0 V \frac{(\rho_x \% \times \rho_l \%)/\rho_x}{A+B[(\rho_x \% \times \rho_l \%)/\rho_x]} \quad (3)$$

В результате проведенных расчетов, приведенных в табл. 1, окончательный вид функциональной зависимости примет вид:

$$Q_0 = P_0 P_0 V \frac{(\rho_x \% \times \rho_l \%)/\rho_x}{54,86[(\rho_x \% \times \rho_l \%)/\rho_x]-43,88} \quad (4)$$

После проведения расчетов было оценено отклонение расчетных значений от фактических значений. Установлено, что полученные значения не превышают 8%.

## ВЫВОДЫ

Приведенные исследования позволяют прогнозировать разрывную нагрузку смешанной хлопкалавсановой ткани различного процентного содержания натуральных и химических волокон. С использованием теории подобия и анализа размерностей получена функциональная зависимость разрывной нагрузки ткани от различного содержания хлопковых и лавсановых волокон, плотности нитей, исходной разрывной нагрузки пряжи. Результаты расчетных значений были сравнены с фактическими значениями и показали достаточно высокую сходимость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биренбаум Е.И. Проектирование прочности пряжи из смеси двух компонентов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1964, №4. С.18...25.
2. Скляников В.П. Строение и качество тканей. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
3. Вавилкин С.Ю., Севостьянов А.Г. Взаимосвязь между свойствами ткани, выработанной из хлопкалавсановой пряжи, в утке и долей компонентов в смеси. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №6. С.22...24.

4. Логвинов А.Н. Разработка методов прогнозирования строения и свойств тканых лент: Дис... канд. техн. наук. – М.: МГТУ. 2000.

5. Шарова Т.М. Исследование влияния качества сырья и параметров технологического процесса на прочность, обрывность пряжи при пневмомеханическом способе прядения: Дис.....канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1977.

6. Кащеев О.В., Шустов Ю.С. Прогнозирование разрывной нагрузки хлопкового волокна тонковолокнистых сортов хлопчатника // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, №4. С.52...55.

7. Дамянов Г.Б., Бачев Ц.З., Сурнина Н.Ф. Строение ткани и современные методы ее проектирования. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

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

## REFERENCES

1. Birenbaum E.I. Designing the strength of yarn from a mixture of two components // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 1964. - №4. S.18...25.
2. Sklyannikov V.P. Fabric structure and quality. - M.: Light and food industry, 1984.
3. Vavilkin S.Yu., Sevostyanov A.G. The relationship between the properties of fabric made from cotton-sausage yarn, in duck and the share of components in laughter // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, №6. P.22...24.
4. Logvinov A.N. Development of methods for predicting the structure and properties of woven tapes. Diss... cand. technical sciences. – M.: MSTU. 2000.
5. Sharova T.M. Study of the influence of the quality of raw materials and process parameters on the strength, discontinuity of yarn during the pneumomechanical spinning method. Diss. Candidate of Technical Sciences. – M. MTI, 1977.
6. Kascheev O.V., Shustov Yu.S. Forecasting the breaking load of cotton fiber of fine-fiber varieties of cotton// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, №4. P.52...55.
7. Damyanov G.B., Bachev C.Z., Surnina N.F. Fabric structure and modern methods of its design. - M.: Light and food industry., 1984.
8. Shustov Yu.S. Modern methods of predicting the properties of textile materials. – M.: A.N. Kosygin Russian State University, 2018.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы. Поступила 10.11.22.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА  
ВОЛОКНИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**REGULATORY SUPPORT IMPROVEMENT FOR THE ASSESSMENT OF FIBROUS  
THERMAL INSULATION MATERIALS QUALITY**

*Н.А. ОНИПЧЕНКО, В.А. ЗЯБЛОВ, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, Б.Н. ГУСЕВ*  
*N.A. ONIPCHENKO, V.A. ZYABLOV, N.A. GRUZINTSEVA, B.N. GUSEV*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: mtsm@ivgpu.ru

*В работе рассматривается проблема совершенствования нормативного обеспечения при оценке качества волокнистых теплоизоляционных материалов в направлении уточнения номенклатуры единичных показателей качества. Для достижения поставленной цели были проанализированы существующие межгосударственные и национальные стандарты на технические условия изготовления различных видов волокнистых теплоизоляционных материалов, в которых были определены несоответствия в номенклатуре показателей качества. В результате предложена единая форма представления показателей качества волокнистых теплоизоляционных материалов, необходимая для построения соответствующих технических условий как национальных стандартов, так и стандартов организаций.*

*The article deals with the problem of improving regulatory support in assessing the quality of fibrous thermal insulation materials in the direction of clarifying the individual quality indicators nomenclature. To achieve this goal, the existing interstate and national standards of technical specifications for the manufacture of various types of fibrous thermal insulation materials were analyzed, according to which inconsistencies in the nomenclature of quality indicators were determined. As a result, a unified form of quality indicators of fibrous thermal insulation materials presentation is proposed, which is necessary for the construction of appropriate technical conditions for both national standards and standards of organizations.*

**Ключевые слова:** волокнистые теплоизоляционные материалы, технические условия, качество, единичные показатели.

**Keywords:** fibrous thermal insulation materials, technical characteristics, quality, individual indicators.

*Введение*

Необходимость постоянного повышения энергоэффективности зданий и сооружений за счет современных (в том числе и волок-

нистых) теплоизоляционных материалов постоянно рассматривается в научных публикациях различного уровня [1...6].

Современный ассортимент теплоизоляционных изделий, применяемых для различных объектов строительного комплекса, достаточно широкий. Теплоизоляционные изделия подразделяются: по виду основного исходного сырья; структуре; форме; возгораемости (горючести); содержанию связующего вещества. В данной работе для исследования использованы плоские волокнистые теплоизоляционные материалы как из органического, так и неорганического сырья.

#### *Методы (направления) исследования*

При объективной оценке качества готовой продукции (волокнистых теплоизоляционных материалов) необходимо совершенствовать нормативное обеспечение как на уровне межгосударственных и национальных стандартов, так и на уровне стандартов организации.

Следует также отметить, что на сегодняшний день в России отсутствуют нормативно закреплённые правила выбора и применения теплоизоляционных материалов в строительных конструкциях в зависимости от их назначения и условий эксплуатации. Учитывая значимость данной проблемы в работе [7], предлагается разработать новый нормативный документ, в котором были бы детально изложены технические требования (в том числе и к волокнистым теплоизоляционным материалам) с учетом условий их применения в конкретных видах строительных конструкций. Таким документом может быть, например, "Свод правил по применению теплоизоляционных материалов в строительстве", развивающий положения СНиП II-3-79 "Строительная теплотехника" и дополняющий СП 23-101-2000 "Проектирование тепловой защиты зданий" в части рекомендаций по номенклатуре, допустимой или наиболее рациональной области применения различных видов теплоизоляционных материалов в строительных конструкциях.

В связи с этим необходимым условием широкого применения волокнистых теплоизоляционных материалов в строительстве является создание нормативной и совершенствование информационной базы в

этой области, направленной на формирование рациональной номенклатуры показателей качества, корректировки нормативных значений определяющих показателей качества, разработка и введение в действие методов оценки их сохраняемости и долговечности в различных условиях эксплуатации. Поэтому совершенствование соответствующих технических условий в рамках оценки общего уровня качества волокнистых теплоизоляционных материалов целесообразно осуществлять в направлениях уточнения номенклатуры и нормативных значений единичных показателей качества, а также совершенствования методов количественной оценки показателей качества на основе современного уровня автоматизации и информатизации.

#### *Результаты и их обсуждение*

На данном этапе исследования были проанализированы действующие межгосударственные стандарты на технические условия изготовления различных волокнистых теплоизоляционных материалов, а именно: маты из минеральной ваты (ГОСТ 21880-2011); теплоизоляционные материалы на основе минеральных волокон (ГОСТ 31309-2005); теплоизоляционные изделия из минеральной ваты (ГОСТ 32313-2020); теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-2012); теплоизоляционные изделия из стеклянного штапельного волокна (ГОСТ 10499-95) по форме табл. 1, а также стандарты организаций (СТО) на отдельные виды волокнистых теплоизоляционных материалов.

Так, в ТУ 21-5328981-08-93 на теплоизоляционный материал на основе базальтового и стеклянного волокна, разработанным Ивотским стекольным заводом, представлен минимальный перечень показателей качества только по показателям назначения.

Во всех нормативных документах, приведенных в табл. 1, уровни показателя категории (марки) объекта исследования устанавливаются в зависимости от значений объемной плотности.

Таблица 1

Показатель качества, единица измерения	Применяемость в нормативном документе				
	ГОСТ 21880-2011	ГОСТ 31309-2005	ГОСТ 32313-2020	ГОСТ 9573-2012	ГОСТ 10499-95
Объемная плотность, кг/м <sup>2</sup>	+	+	+	+	+
Длина, мм	+	+	+	+	+
Ширина, мм	+	+	+	+	+
Толщина, мм	+	+	+	+	+
Отклонения от номинальных размеров изделия, мм	+	+	+	+	+
Расстояние между кромкой и крайним швом, мм	+				
Расстояние между швами, мм	+				
Шаг шва, мм	+				
Содержание органических веществ (по массе), %	+	+		+	
Содержание синтетического связующего (по массе), %		+			
Полнота поликонденсации связующего, %				+	
Теплопроводность, Вт/(м·К)	+	+		+	+
Сжимаемость, %	+	+		+	+
Упругость, %	+	+			
Прочность при растяжении, МПа		+		+	
Прочность при изгибе, МПа		+			
Прочность на сжатие при 10%-ной деформации, МПа		+	+	+	+
Прочность на отрыв слоев, МПа		+		+	
Влажность (сорбционная) по массе, %	+			+	+
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	+	+			
Водопоглощение при кратковременном погружении, кг/м <sup>2</sup>		+	+	+	
Коэффициент звукопоглощения	+		+	+	
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов	+	+		+	
Концентрация вредных веществ					
Группа горючести	+		+		
Группа воспламеняемости			+	+	
Группа дымообразующей способности				+	
Предельная температура применения, °С			+		

Проведенный анализ нормативной документации на волокнистые теплоизоляционные материалы свидетельствует о том, что в них отсутствует комплексность и системность (как основные принципы стандартизации) при формировании номенклатуры показателей качества. По этой причине при

совершенствовании технических условий на волокнистые теплоизоляционные материалы различного назначения предлагается в подразделе "Основные параметры и характеристики" раздела "Технические требования" структурировать необходимые показатели качества по форме табл. 2.

таблица 2

Подгруппа показателей	Показатели	
	Оцениваемое свойство	Показатель качества (физическая величина), единица измерения
Группа показателей назначения		
Конструктивные	Протяженность в продольном направлении	Длина, мм
	Протяженность в поперечном направлении	Ширина, мм
		Толщина, мм
	Отклонение от номинальных размеров	Отклонение размеров по абсолютной величине, мм
	Формирование	Количество слоев
Направление слоев		
Материалоемкость	Объемная плотность, г/м <sup>3</sup>	

Состава и структуры	Сырьевой состав	Массовая доля входящих компонентов, %
		Содержание органических веществ (по массе), %
		Содержание синтетического связующего (по массе), %
	Структура	Средний диаметр составляющих волокон, мкм
		Направление расположения волокон (продольное, поперечное, хаотическое)
		Способ соединения волокон
Группа показателей надежности		
Эксплуатационной надежности	Теплопроводность	Показатель теплопроводности, Вт/(м·К)
	Прочность при растяжении	Разрывная нагрузка, Н
	Прочность при изгибе	Разрушающее усилие, Н
	Прочность на сжатие (при 10 % линейной деформации)	Фактическое усилие, Н
	Прочность на отрыв слоев	Раздирающая нагрузка, Н
	Прочность при продавливании	Усилие на продавливание, Н
	Упругость	Изменение толщины после фиксированной нагрузки, мм
	Сжимаемость	Изменение толщины при фиксированной нагрузке, мм
	Влажность	Влажность (сорбционная) по массе, %
	Водопоглощение	Показатель водопоглощения при кратко- временном погружении, кг/м <sup>2</sup>
	Паропроницаемость	Показатель паропроницаемости мг/(м·ч·Па)
Звукопоглощение	Коэффициент звукопоглощения	
Сохраняемости	Стабильность размеров	Изменение линейных размеров после длительного хранения, %
Долговечности		Гарантированный срок эксплуатации
Группа показателей безопасности		
Пожарной безопасности	Горючесть	Группа горючести
	Воспламеняемость	Группа воспламеняемости
	Дымообразующая способность	Группа дымообразующей способности
	Температура применения	Предельная температура применения, °С
Радиационной безопасности		Удельная эффективная активность естественных радионуклидов

Отмечаем, что в отличие от действующих нормативных документов, показанных в табл. 1, по отдельным показателям качества осуществлена корректировка их названия с целью исключения смешивания понятий наименования отдельного свойства и наименования количественного показателя данного свойства, т.е. показателя качества как физической величины.

Методология установления конкурентоспособных нормативных значений показателей качества различных по виду текстильных волокнистых материалов с учетом постоянно обновляющего ассортимента рассмотрена в работах [8...10].

При необходимости комплексной оценки качества волокнистых теплоизоляционных материалов (например, для оценки их

конкурентоспособности) можно воспользоваться ранее разработанными рекомендациями [11].

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что в имеющейся нормативной документации на волокнистые теплоизоляционные изделия отсутствует комплексность и системность при формировании номенклатуры показателей качества. В стандартах не всегда приводятся необходимый и достаточный перечень показателей для объективной оценки качества волокнистых теплоизоляционных материалов. Имеет место также смешивание понятий контролируемых свойств и их количественных

показателей, т.е. единичных показателей качества. Таким образом, в итоге (табл. 2) предложен расширенный и систематизированный по соответствующим группам перечень показателей качества волокнистых теплоизоляционных материалов, необходимый для разработки соответствующих технических условий при формировании как национальных стандартов, так и стандартов организаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кусенкова А.А., Зяблов В.А. Совершенствование технологии утепления жилых и административных зданий волокнистыми материалами // Сб. научн. тр. Инженерно-строительного института ИВГПУ: Инженерные и социальные системы. – Иваново: ИВГПУ, 2017. Вып. 2.
2. Федосов С.В., Малбиев С.А., Кусенкова А.А., Ветрова Ю.С., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Состояние и перспективы применения композиционных полимерных теплоизоляционных материалов с улучшенными свойствами // Вестник Приволжского государственного политехнического университета. Серия: "Материалы. Конструкции. Технологии". – 2018, № 3 (7). С. 26...43.
3. Весова Л.М., Ефимова Е.А. Энергоэффективные материалы для ограждающих конструкций // Теория и практика актуальных исследований. – 2016, № 15. С.191...196.
4. Griбанov A.S., Roshchina S.I., Popova M.V., Sergeev M.S. Laminar polymer composites for wooden structures // Magazine of Civil Engineering. – 2018. 83(7). P. 3...11.
5. Ярцев В.П., Струлев С.А., Мамонтов А.А. Обоснование выбора теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций каркасно-щитового здания // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2015, № 1 (10). С. 15...20.
6. Зыков А.П., Кадыков О.В. Причины снижения теплозащитных свойств волокнистых теплоизоляционных материалов наружных стен в период эксплуатации малоэтажных зданий // Евразийское Научное Объединение. – 2020, № 7-2 (65). С.107...110.
7. О технических требованиях к волокнистым теплоизоляционным материалам в строительстве: [Электронный ресурс]. [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid).
8. Лысова М.А., Грузинцева М.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.

9. Пухова Е.И., Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Определение базовых значений показателей качества конкурентоспособной геотекстильной продукции // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, №3. С.287...290.

10. Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гойс Т.О., Гусев Б.Н. Прогнозирование нормативных значений показателей качества нетканых геотекстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, №4. С.47...51.

11. Кусенкова А.А., Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Оценка уровня конкурентоспособности геосинтетических тканых полотен // Технологии и качество. – 2019, №1. С. 16...21.

#### REFERENCES

1. Kusenkova A.A., Zyablov V.A. Improving the technology of insulation of residential and administrative buildings with fibrous materials / Engineering and social systems: collection of scientific papers of the Engineering and Construction Institute of IVSPU. – Ivanovo: IVSPU, 2017. - Issue 2.
2. Fedosov S.V., Malbiev S.A., Kusenkova A.A., Vetrova Yu.S., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. State and prospects of application of composite polymer thermal insulation materials with improved properties // Bulletin of the Volga State Polytechnic University Series: "Materials. Constructions. Technologies". – 2018, - № 3 (7). P. 26...43.
3. Vesova L.M., Efimova E.A. Energy-efficient materials for enclosing structures // Theory and practice of modern research. 2016. - No. 15. - pp.191-196.
4. Griбанov A.S., Roshchina S.I., Popova M.V., Sergeev M.S. Layered polymer composites for wooden structures. Journal of Civil Engineering. - 2018. -83(7). - pp. 3-11.
5. Yartsev V.P., Strulev S.A., Mamontov A.A. Justification of the choice of thermal insulation materials for enclosing structures of a frame-panel building // Scientific Bulletin of VGASU. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science. - 2015. - № 1 (10). - Pp. 15-20.
6. Zykov A.P., Kadykov O.V. Reasons for the decrease in heat-protective properties fibrous thermal insulation materials of external walls during operation of low-rise buildings // Eurasian Scientific Association. - 2020. - № 7-2 (65). Pp. 107-110.
7. On technical requirements for fibrous thermal insulation materials in construction : [Electronic resource]. [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid).
8. Lysova M.A., Gruzintseva M.A., Kusenkova A.A., Gusev B.N. Establishment of the normative value of the strength indicators of geosynthetic webs based on the evaluation of distribution parameters // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2019. No. 2. pp. 54-57.
9. Pukhova E.I., Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. Determination of basic values of quality indicators of competitive geotextile products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya

Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022. No. 3. pp. 287-290.

10. Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gois T.O., Gusev B.N. Forecasting of normative values of quality indicators of nonwoven geotextile fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022. No. 4. pp. 47-51.

11. Kusenkova A.A., Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. Assessment of the level of competitiveness of geosynthetic woven materials // Technologies and quality. - 2019. No. 1. pp. 16-21.

Рекомендована кафедрой . Поступила .

---



УДК 677.022

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_69

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ШЛЯПОК ЧЕСАЛЬНЫХ МАШИН  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕНТЫ И ПРЯЖИ**

**THE INFLUENCE OF CARD FLATS SPEED  
ON THE YARN AND SLIVER QUALITY**

*С.Т. ТОЖИМИРЗАЕВ<sup>1</sup>, Х. ПАРПИЕВ<sup>2</sup>, А.Ф. ПЛЕХАНОВ<sup>3</sup>, Н.А. ВИНОГРАДОВА<sup>4</sup>*

*S.T. TOJIMIRZAEV<sup>1</sup>, KH. PARPIEV<sup>2</sup>, A.F. PLEKHANOV<sup>3</sup>, N.A. VINOGRADOVA<sup>4</sup>*

*(Ургенчский государственный университет, Республика Узбекистан,  
Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан,  
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия,  
Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет (НИУ МГСУ), Россия)*

*(Urgench State University, Uzbekistan,  
Namangan Institute of Engineering and Technology, Uzbekistan,  
(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Russia,  
Moscow State University of Civil Engineering (National Research university) (MGSU), Russia)*

*E-mail: sanjar.tojimirzaev@gmail.com; vonahelp@mail.ru; lisa-xumuk@yandex.ru*

*В статье приведены результаты производственных испытаний влияния скорости движения шляпок на качество полуфабрикатов и пряжи. Известно, что чистую, равномерную пряжу высокого качества можно выплести только из хорошо прочесанной и равномерной чесальной ленты. Качество полуфабрикатов во многом зависит от скоростных параметров заправки рабочих органов технологического оборудования. На чесальных машинах одними из главных параметров, оказывающих влияние на интенсивность воздействия на волокнистую массу, являются частота вращения приемного барабана, разводка между главным барабаном и шляпками, а также скорость движения шляпочно-го полотна. В исследованиях, проведенных нами в производственных условиях прядильной фабрики ООО "URGTEX", скорость шляпочно-го полотна изменялась в диапазоне от 0,2 до 0,36 м/мин. По результатам проведенных испытаний определялись качественные показатели ленты линейной плотности 6 ктекс и пряжи 20, 29 текс. Установлено, что наивысшее качество продукта достигается при максимальной скорости шляпок 0,36 м/мин и значительном увеличении количества отходов.*

*The article presents the results of production tests of the flats speed movement influence on the quality of semi-finished products and yarn. It is known that a clean, uniform yarn of high quality can only be produced from a well-carded and uniform*

*card sliver. The quality of semi-finished products largely depends on the speed parameters of technological equipment. On carding machines, one of the main parameters that affect the intensity of the impact on the fibrous mass is the frequency of the taker-in drum rotation, the wiring between the main drum and the flats, as well as the speed of the flats. In the studies carried out by us in the production conditions of the URGTEX LLC spinning factory, the speed of the flats varied in the range from 200 to 360 m/min. According to the results of the tests, the quality indicators of the sliver Ne 0.1 and yarn Ne 20, 30 were determined. It has been established that the highest quality of the product is achieved with a maximum flats speed of 0,36 m/min and a significant increase in the amount of waste.*

**Ключевые слова:** пряжа, лента, кардочесальная машина, качество прочеса, шляпка, скорость шляпок.

**Keywords:** yarn, sliver, card, web quality, flat, flats speed.

Известно, что качество пряжи в значительной степени зависит от качества приготовления ленты на шляпочных кардочесальных машинах. Вопросам процесса чесания волокнистой массы в рабочей зоне "главный барабан – шляпки" уделяли внимание многие исследователи. Еще проф. Н.Т. Павлов в 1938 году [1, с. 405...409] указывал, что исследовательские работы ЦНИТИ, ЛОНИТИ (ЦНИХБИ, ЛениИИТП), ИвНИТИ и других научных учреждений дают достаточное количество материала по определению влияния скорости шляпок и их количества в рабочей зоне на качество прочеса и количество шляпочных очесов. Приводя конкретные результаты исследований, автор также утверждал, что невозможно имеющимися теоретическими методами определить оптимальную скорость шляпок, качество прочеса и выход шляпочных очесов. Так, с увеличением скорости шляпок количество шляпочных очесов увеличивается непропорционально. Проведя анализ имеющихся данных, автор приходит к выводу, что оптимальной скоростью шляпок можно считать скорость около 60...65 мм/мин, так как при этой скорости степень чистоты ленты из хлопка средней длины I сорта удовлетворительна, качество пряжи более высокое, чем при других больших скоростях, а количество шляпочных очесов относительно невелико. Скорость шляпок при обработке низких сортов хлопка должна быть увеличена, так

как при скорости 100 мм/мин улучшается прочес и до некоторой степени качество пряжи. Для длинноволокнистых сортов хлопка скорость шляпок можно принять такую же, как и для хлопка I сорта средней длины, т.е. 60...65 мм/мин.

Вопросам исследования процессов кардочесания посвящены научные труды профессоров Ворошилова (ИвНИТИ) [2] Борзунова И.Г. (МТИ) [3], Карасева Г.И. (ИвТИ) [4], Джохаридзе Г.В. [5], Крылова В.В. (ВНИИЛТЕКМАШ) [6], Ашнина Н.М. (ЛИТЛП им. С.М. Кирова) [7], а также Оренбаха С.Б. (ЦНИИМашдеталь) [8] др.

В научно-исследовательских трудах Ф.Т. Александрова и В.В. Крылова, проведенных во ВНИИЛТЕКМАШ (Москва) и на заводе "Вулкан" (Санкт-Петербург) с целью создания высокопроизводительной скоростной чесальной машины для хлопка ЧМС-450, принятой для серийного производства, даны теоретические исследования факторов, влияющих на процесс чесания хлопка в узле главный барабан – шляпки [9, с.36...37]. Установлено, что при возрастании длительности нахождения шляпки в рабочей зоне содержание коротких волокон в шляпочном очесе увеличивается. Повышается и содержание сорных частиц в очесе. При длительном останове шляпок до 5 часов, количество шляпочного очеса снизилось до 0,23%, содержание волокон длиной до 15 мм повысилось до 36,1%, засоренность прочеса поднялась до 41,6%.

Шляпочный прочес при этом был настолько уплотнен, что его невозможно было снять обычным способом.

За последнее время производительность технологического оборудования, в том числе и чесальных машин, значительно выросла, следовательно, увеличились и скорости рабочих органов, изменились технологические режимы воздействия на волокнистую массу, требующие уточнения и дополнительных исследований. С этой целью нами были проведены испытания кардочесальной машины ТС-15 [10] фирмы Trützschler (Германия) на прядильной фабрике ООО "Urgtex" при переработке хлопка IV типа 1-2 сорта селекции "Султан". Физико-механические характеристики волокна, определенные на приборе Uster AFIS PRO (Швейцария) [11] по системе HVI (High Volume Instrument, США), приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели волокна	Среднее значение показателя
Зажгученность, уз./г	265
Микронейр, $\mu\text{g}/\text{in}$	4,3
Верхняя полусредняя длина, мм	34,2
Штапельная длина, мм	28,2
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	29,3
Желтизна (yellowness), +b	9,28
Отражательная способность (Reflectance), Rd	81,22
Индекс зрелости (Maturity index)	0,82
Индекс однородности (Uniformity index), %	81,6
Разрывное удлинение, %	7,1
Содержание коротких волокон, %	6,77

По утверждению поставщика технологического оборудования, рабочая ширина машины ТС-15 составляет 1,28 м, больше рабочей ширины предыдущей модели ТС-10, имеющей 1 м, что позволяет повысить производительность на 30...50% и максимальное значение может достигать 260 кг/ч. Активная зона чесания при длине поверхности главного барабана, взаимодействующей с неподвижными шляпками и шляпочным полотном 2,84 м (рис. 1), составляет 3,7 м<sup>2</sup>.



Рис. 1

Для проведения эксперимента при наработке чесальной ленты линейной плотности 6 ктекс было выбрано пять скоростных режимов движения шляпочного полотна: 0,2, 0,24, 0,28, 0,32 и 0,36 м/мин. При каждой из пяти скоростей шляпок нарабатывалось по 10 тазов чесальной ленты. Другие заправочные параметры чесальной машины ТС-15 в процессе проведения эксперимента не изменялись и приведены в табл. 2. Пряжа линейной плотности 20 и 29 текс выработывалась из ровницы линейной плотности 490 текс на кольцевых прядильных машинах Zinser 72 (Германия).

Т а б л и ц а 2

Параметры заправки	Значения показателя
Линейная плотность настила, текс	600
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ : приемного барабана главного барабана	1250 520
Скорость шляпок, м/мин	0,2/0,24/0,28/0,32/0,36
Скорость выпуска, м/мин	200
Количество шляпок в полотне, шт.	99
Разводки между главным барабаном и шляпками, по ходу технологического процесса, мм	0, 25/0,25/0,22/0,22/0,2
Движение шляпок	встречное

В табл. 3 приведены основные параметры плана технологического процесса прядения. Для каждого из пяти режимов

движения шляпочного полотна нарабатывалось по восемь початков пряжи с целью определения средних значений неравно-

мерности U (%) и содержания дефектов IPI. Содержание дефектов в пряже IPI включает количество толстых (отклонение от

номинальных значений +50%), тонких (-50%) мест и шишек-узелков (nepс, +200%) на отрезке длиной 1000 м.

Т а б л и ц а 3

Технологические показатели	Значение показателя для пряжи	
	20 текс	29 текс
Линейная плотность ленты, ктекс	6	6
Линейная плотность ровницы, текс	490	490
Крутка ровницы, кр/м	44	44
Частота вращения веретен, мин <sup>-1</sup>	17000	17000
Крутка пряжи, кр/м	760	720
Вытяжной прибор прядильных машин	3×3	3×3
Вытяжка	24,5	16,9
Число сложений на ленточных машинах:		
	1 переход	6
2 переход	8	8

Значения неровноты пряжи определялись на приборе USTER TESTER 5 (Швейцария) [12]. Линейная плотность пряжи определялась на приборе AUTOSORTER 5 [13], прочность одиночной нити – на приборе TENSORAPID 5 [14]. Все испытания проводились при стандартных лабораторных условиях тестирования: температура

воздуха 20±2°С и относительная влажность воздуха 65±2%. Результаты исследований приведены в табл. 4. Полученные результаты могут быть проверены и для других видов сырья – длинноволокнистого хлопка, а также хлопка низких сортов и прядомых отходов [15].

Т а б л и ц а 4

Показатели пряжи	Скорость движения шляпок, м/мин				
	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36
Шишки-узелки (nepс, +200%)	88	82	77	66	59
Интенсивность удаления пороков NRE, %	63	67	73	77	83
Содержание коротких волокон SFC, %					
	по количеству	23,5	22,3	21,2	20,3
по массе	8,3	8,0	7,5	7,0	6,2
Неравномерность ленты U, %	3,25	3,08	2,75	2,6	2,47
Коэффициент вариации CV, %	4,13	4,06	3,67	3,5	3,1
Неравномерность пряжи U, %					
	T=20 текс	14,0	12,0	11,5	9,0
T=29 текс	11,5	10,0	8,5	7,5	7,0
Содержание дефектов IPI: 20/29 текс					
	толстых мест (+50%)	173/122	125/102	101/82	78/74
тонких мест (-50%)	20/6	14/5	7/3	3/2	3/1
непсы (+200%)	221/123	210/119	175/101	132/74	119/59
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	13,5/11,5	14,6/11,9	15,1/12	15,2/12,1	17,1/12,2

## В Ы В О Д Ы

Исследования, проведенные в производственных условиях, подтвердили выводы о том, что увеличение скорости движения шляпок повышает качество ленты и пряжи. Содержание коротких волокон, толстых, тонких мест и непсов в пряже уменьшается. Неравномерность и коэффициент вариации

ленты и пряжи снижаются, а удельная разрывная нагрузка пряжи повышается.

Анализ результатов производственных испытаний при различных технологических параметрах заправки чесальных машин ТС-15 показал, что рекомендуемой скоростью движения шляпок для средневолокнистого хлопка является 0,32 м/мин. Увеличение скорости шляпок до 0,36 м/мин

сопровождается значительным увеличением количества шляпочных очесов и потерей прядомого волокна в отходах. Это приводит к значительному повышению себестоимости прядильного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Н.Т. Хлопкопрядение. Том первый. Приготовительный отдел. – Изд. 2-е испр. и доп. – М. – Л.: Гизлегпром, 1938.
2. Ворошилов В.А. Процесс чесания волокнистых материалов игольчатыми и пильчатыми гарнитурами: Дис....докт. техн. наук. – М.: МТИ, 1950.
3. Борзунов И.Г. Исследование процесса кардочесания хлопка с целью совершенствования существующих и создания новых высокопроизводительных чесальных машин: Дис....докт. техн. наук. – М.: МТИ, 1967.
4. Карасев Г.И. Исследование процесса обработки хлопковых волокон в различных узлах шляпочных чесальных машин: Дис....докт. техн. наук. – Иваново: ИвТИ, 1968.
5. Джохаридзе Г.В. Исследование процесса чесания и усовершенствование работы основных узлов чесальных машин: Дис....докт. техн. наук. – Тбилиси, МТИ, 1968.
6. Крылов В.В. Исследование процесса кардочесания с целью увеличения производительности шляпочной чесальной машины и повышения качества прочеса: Дис....докт. техн. наук. – М.: МТИ, 1973.
7. Ашнин Н.М. Кардочесание волокнистых материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
8. Оренбах С.Б. Гарнитура чесальных машин (эксплуатация и монтаж). – М.: Легпромбытиздат, 1987.
9. Научно-исследовательские труды. – М.: ВНИИЛТЕКМАШ, 1963. – 65 с.
10. <https://www.truetzschler.com/en/spinning/products/card/detailed-information/card-tc-15/>
11. <https://www.uster.com/products/fiber-testing/uster-afis-pro/>
12. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-tester/>
13. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-autosorter/>
14. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-tensorapid/>
15. Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Плеханов А.Ф., Виноградова Н.А. Исследование характеристик прочности хлопчатобумажной пряжи из

вторичного сырья // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 3. С.123...129.

#### REFERENCES

1. Pavlov N.T. Cotton spinning. Volume one. Preparatory department. Ed. 2nd rev. And extra. - M. - L.: Gizlegprom, 1938.
2. Voroshilov V.A. The process of combing fibrous materials with needle and serrated headsets. Doctoral dissertation. – M.: MTI, 1950.
3. Borzunov I.G. Study of the cotton carding process with the aim of improving existing and creating new high-performance carding machines. Doctoral dissertation. – M.: MTI, 1967.
4. Karasev G.I. Investigation of the process of processing cotton fibers in various units of hat combing machines. Doctoral dissertation. - Ivanovo: IvTI, 1968.
5. Jokharidze G.V. Study of the carding process and improvement of the operation of the main units of carding machines. Doctoral dissertation. - Tbilisi: MIT, 1968.
6. Krylov V.V. Study of the carding process in order to increase the productivity of the flat carding machine and improve the quality of the carding. Doctoral dissertation. – M.: MTI, 1973.
7. Ashnin N.M. Carding of fibrous materials. Moscow: Legprombytizdat, 1985.
8. Orenbakh S.B. Set of carding machines (operation and installation). – M.: Legprombytizdat, 1987.
9. Research papers. - M.: VNIILTEKMASH, 1963.
10. <https://www.truetzschler.com/en/spinning/products/card/detailed-information/card-tc-15/>
11. <https://www.uster.com/products/fiber-testing/uster-afis-pro/>
12. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-tester/>
13. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-autosorter/>
14. <https://www.uster.com/products/staple-yarn-testing/uster-tensorapid/>
15. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V., Plekhanov A.F., Vinogradova N.A. Investigation of the strength characteristics of cotton yarn from recycled materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2022, No. 3 (399). P. 123...129.

Рекомендована кафедрой технологии изделий текстильной промышленности НИТИ (Узбекистан). Поступила 17.10.22.

**ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ПРЯДИЛЬНОГО РАСТВОРА  
НА СТРУКТУРУ НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ\***

**EFFECT OF THE SPINNING SOLUTION FORMULATION  
ON THE STRUCTURE OF NANOFIBROUS MATERIALS  
PRODUCED BY ELECTROSPINNING**

*М.А. ДЕМИДОВА, Д.Б. РЫКЛИН*

*M.A. DEMIDOVA, D.B. RYKLIN*

**(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)**

**(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)**

E-mail: demidova.mariya00@gmail, ryklin-db@mail.ru

*В последние годы повышенный интерес исследователей, занимающихся вопросами получения электроформованных материалов, покрытий и конструкций, вызывает использование прядильных композиций на основе нетоксичных, более экологически чистых и водорастворимых полимеров. Одним из таких полимеров, востребованных со стороны медицины и косметологии, является поливиниловый спирт. На структуру и свойства нановолокнистых материалов существенное влияние оказывает рецептура прядильного раствора, в том числе содержание в нем волокнообразующего полимера и таргет-компонента. В связи с этим целью данной работы является установление влияния состава прядильного раствора на его динамическую вязкость и на структуру нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования. В данной работе для производства водорастворимых медицинских материалов различной структуры с механизмом таргет-доставки лекарств предложено использовать глицерин. Электроформование нановолокнистых материалов проводилось на установке для получения нановолокон Fluidnatek LE-50. Изображения электроформованных материалов были получены с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия). Предложена математическая модель, описывающая влияние содержания компонентов формовочного раствора на его динамическую вязкость, а также модель, описывающая влияние расхода волокнообразующего раствора и таргет-компонента глицерина на диаметр волокна.*

*In recent years, researchers engaged in the development of electrospun materials, coatings and structures have been actively interested in the use of spinning compositions based on non-toxic, more environmentally friendly and water-soluble polymers. One of these polymers is polyvinyl alcohol which is used in medicine and cosmetology. The structure and properties of nanofibrous materials are significantly affected by the formulation of the spinning solution, including the content of the fiber-forming polymer and the target component. In this regard, the purpose of this work is to establish the influence of the spinning solution composition both on its*

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

*dynamic viscosity and the structure of nanofibrous materials obtained by electrospinning. In this work, it is proposed to use glycerol for the production of water-soluble medical materials of various structures with a mechanism of targeted drug delivery. 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). A mathematical model is proposed that describes the effect of the components content in the spinning solution on its dynamic viscosity, as well as a model that describes the effect of the consumption of the fiber-forming solution and the target component glycerol on the fiber diameter.*

**Ключевые слова:** электроформование, поливиниловый спирт, водорастворимые полимеры, таргет-компонент.

**Keywords:** electrospinning, polyvinyl alcohol, target component, water-soluble polymers.

Электроформование считается относительно простым, экономически эффективным и технологически гибким методом, позволяющим производить непрерывные твердые волокна из полимерного раствора с использованием электростатических сил. Электроформованные нановолокна обладают такими характеристиками, как большая площадь поверхности на единицу массы, высокая пористость, малый размер межволоконных пор и высокая газопроницаемость. Эти свойства делают их эффективными с целью использования для нужд водоочистой и воздушной фильтрации, хранения энергии, косметической, электронной и сенсорной, фармацевтической, медицинской и упаковочной промышленности и многих других областей [1], [2].

Для получения волокон методом электроформования из раствора могут быть использованы различные типы материалов, включая как синтетические, так и природные полимеры и их комбинации. Среди полимерных материалов, используемых для получения формовочных растворов, выделяют следующие группы: синтетические полимеры, такие как полистирол, поливинилхлорид и поливиниловый спирт; биосовместимые и биоразлагаемые синтетические полимеры, такие как полимолочная кислота и полимолочно-гликолевая кислота; проводящие полимеры, такие как полианилин и полипиррол; природные полимеры, такие как хитозан, альгинат, коллаген и желатин [3...5]. При этом среди

наиболее используемых растворителей в литературе выступают следующие: спирты, дихлорметан, хлороформ, диметилформамид, тетрагидрофуран, ацетон, диметилсульфоксид, гексафторизопропанол и трифторэтанол [3]. В последние годы наблюдается растущий интерес к использованию нетоксичных и более экологически чистых материалов и растворителей. К ним относятся возобновляемые биополимеры и водорастворимые полимеры, поскольку они являются более экологичными вариантами по сравнению с синтетическими полимерами, при переработке которых часто используются токсичные растворители [6], [7].

Такие сферы, как медицина и косметология, проявляют наибольший интерес к получению различных терапевтических средств на основе водорастворимых полимеров, поскольку они обладают низкой токсичностью, не вызывают иммунного ответа у организма пациента, а также легко выводятся из организма в течение короткого периода времени. В связи с этим остро стоит вопрос получения водорастворимых нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций на основе нетоксичных полимеров, растворителем у которых выступает вода.

Характеристики электроформованных нановолокон напрямую зависят от основных факторов, оказывающих влияние на протекание процесса электроформования. Среди факторов, относящихся к используе-

мым прядильным растворам, выделяют концентрацию, молекулярную массу волокнообразующего полимера, вязкость, поверхностное натяжение, проводимость и термодинамические свойства. Наиболее значимым фактором формовочного раствора является его вязкость. Ее влияние на протекание процесса электроформования, а также структуру и морфологию получаемых нановолокон для различных полимеров является предметом изучения исследователей, занимающихся вопросами получения нановолокнистых материалов, покрытий и структур.

Важнейшим свойством прядильного раствора является его динамическая вязкость. Определение оптимальной вязкости раствора является одной из основных задач, решаемых при разработке технологии производства материалов методом электроформования, так как слишком низкая вязкость приводит к отсутствию образования волокон, а повышенная вязкость – к затруднению выброса струй из раствора полимера.

Как правило, вязкость раствора можно регулировать путем изменения концентрации полимера в растворе. Различные вязкости раствора приводят к возникновению разных структур полимера, при этом диапазон вязкости у разных полимеров при электроформовании различен. Увеличение вязкости раствора или его концентрации приводит к электроформованию нановолокон с большим и более равномерным диаметром [8]. Существует минимальная концентрация, которая требуется в электроформовании для образования волокон, так как при очень низких концентрациях вместо электроформования происходит электрораспыление [9]. При низких концентрациях раствора получается смесь волокон и бисера – дефекта нановолокна, представляющего собой мелкодисперсные капли застывшего полимера. По мере увеличения концентрации полимера в растворе форма бисера изменяется от сферической к веретенообразной. При достижении специфической критической концентрации полимера в растворе начинается образование однородных волокон [8].

В процессе электроформования обычно используют растворы полимеров с весовой концентрацией до 20 % и соответствующей динамической вязкостью от 50 до 1000 мПа·с. Однако в литературе отмечается, что "...для некоторых низкомолекулярных полимеров возможны более высокие весовые концентрации, а для высокомолекулярных – более низкие вязкости" [10].

Таким образом, целью исследований было установление влияния рецептуры прядильного раствора на основе поливинилового спирта в чистом виде и с добавлением таргет-добавки глицерина на его динамическую вязкость, а также на структуру нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования.

Одним из наиболее распространенных полимеров, используемых для получения материалов медицинского назначения методом электроформования, является поливиниловый спирт (ПВС), что обусловлено его относительно низкой стоимостью и уникальными свойствами [11]. 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. [12]. Благодаря нетоксичности поливиниловый спирт может применяться в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозаменяющих растворов [13]. Одним из веществ, которые могут быть добавлены в формовочный раствор для получения водорастворимых материалов медицинского или косметологического применения, является глицерин. Он широко используется в качестве компонента при создании увлажняющих средств, выполняет функцию защиты кожи, так как сохраняет влагу в клетках, применяется в роли антисептика при комплексном лечении многих заболеваний, особенно кожных (способствует заживлению ран, пре-



пятствует заражению и гноению), обладает водопоглощающим эффектом, провоцирует дегидратацию и гибель болезнетворных бактерий [14].

Электроформование нановолокнистых материалов проводилось на установке Fluidnatek LE-50 [15]. Для проведения исследований из поливинилового спирта Arkofil фирмы Arhstoma и таргет-компонента глицерина было приготовлено 12 растворов с различной концентрацией компонентов:

- 3 водных однокомпонентных раствора волокнообразующего полимера ПВС с концентрацией 10, 12 и 14 %;

- 9 двухкомпонентных растворов, полученных в процессе добавления 10, 20 и 30% глицерина в каждый из исследуемых вариантов раствора ПВС.

Для измерения динамической вязкости использовался ротационный вискозиметр RM 100 Plus.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что с повышением доли ПВС в прядильном растворе без добавления глицерина его динамическая вязкость существенно увеличивается. При добавлении до 20 % глицерина вязкость прядильного раствора также значительно уменьшается, но при дальнейшем увеличении доли данного компонента имеет место незначительное возрастание вязкости, что может быть объяснено образованием ассоциатов между молекулами глицерина в растворе за счет межмолекулярных водородных связей. Данная тенденция выявлена для растворов с содержанием поливинилового спирта 12 и 14 %. Для раствора с содержанием 10 % ПВС уменьшение вязкости раствора было заметно во всем диапазоне изменения концентрации глицерина.

В результате статистической обработки результатов исследований была получена модель, описывающая влияние содержания ПВС  $x_1$  в однокомпонентном растворе и глицерина  $x_2$  в формовочном растворе на его динамическую вязкость:

$$\eta = 1154,5 + 396,1x_1 - 214,0x_2 - 157,6x_1x_2 - 268,9x_1^2. \quad (1)$$

Факторы  $x_1$  и  $x_2$  в модели (1) представлены в кодированных величинах с учетом выбранных диапазонов процентных содержаний компонентов.

Коэффициент детерминации составил  $R^2=0,957$ . График, отражающий зависимость динамической вязкости формовочных растворов от содержания в них компонентов, представлен на рис. 1.

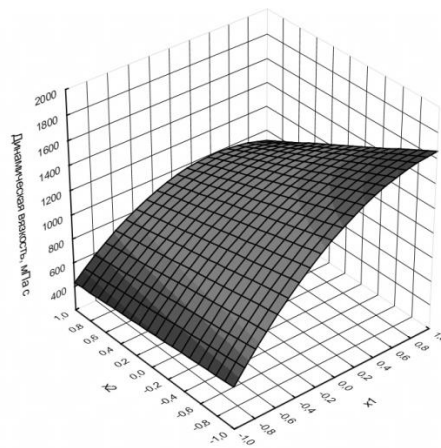


Рис. 1

Анализ поверхности отклика показал, что полученная модель (1) достаточно точно описывает выявленные тенденции, но не отражает повышение вязкости растворов при увеличении доли компонентов прядильных растворов.

Дальнейшие исследования показали, что стабильного процесса электроформования при получении нановолокнистых водорастворимых материалов из ПВС и глицерина можно добиться в том случае, если концентрация глицерина в формовочном растворе не превышает 10 %.

Так как наибольшего расхода волокнообразующего полимера удалось добиться при добавлении в раствор 14% ПВС, данная концентрация признана наиболее рациональной.

Сопоставляя полученные результаты с данными о свойствах прядильных растворов, можно отметить, что стабильным оказался процесс электроформования материалов из растворов исследуемых составов с динамической вязкостью не ниже 1200 мПа·с.

Таким образом, для получения нановолокнистых материалов было принято решение о приготовлении дополнительных образцов полимерных композиций на основе 14 %-ного ПВС с различным содержанием раствора глицерина (0, 4, 7 и 10 %).

Для установления структуры полученных образцов использован метод сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия). Электронные снимки поверхности волокнистого материала при увеличении в 15000 раз приведены на рис. 2.

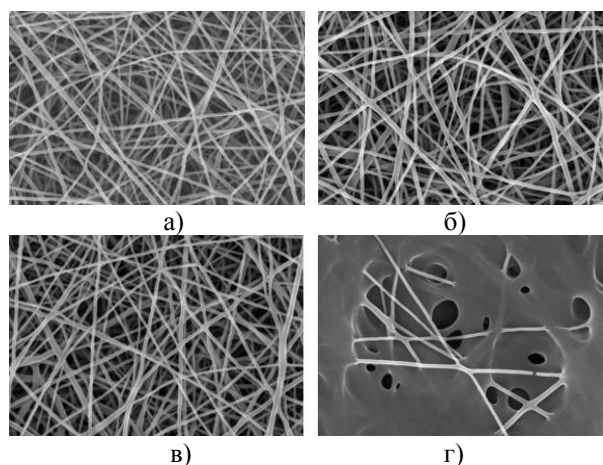


Рис. 2

Анализ полученных изображений позволил определить, что нановолокнистое покрытие, сформованное из раствора ПВС без добавления глицерина, практически не содержит явно видимых дефектов. При добавлении глицерина возникают следующие дефекты: застывшие капли прядильного раствора на поверхности полученного материала, а также пряди (агломераты), представляющие собой слипшиеся при осаждении нановолокна. Количество агломератов нановолокон повышается при увеличении процентного содержания глицерина в формовочном растворе.

Для дальнейших исследований при получении образцов нановолокнистых материалов были использованы те варианты растворов, при электроформовании которых получаемый нановолокнистый материал имел четкую структуру. С их использованием в различном сочетании расходов была осуществлена наработка 9 образцов

покрытий. Расход волокнообразующего полимера устанавливался на трех уровнях: 1,0, 1,3, 1,6 мл/ч. В качестве подложки использовалась бумага с нанесенным на принтере слоем черной краски. Электронные снимки поверхности волокнистого материала, полученные с использованием метода сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа LEO 1420 при увеличении в 15000 раз для расхода волокнообразующего полимера 1,6 мл/ч, приведены на рис. 3.

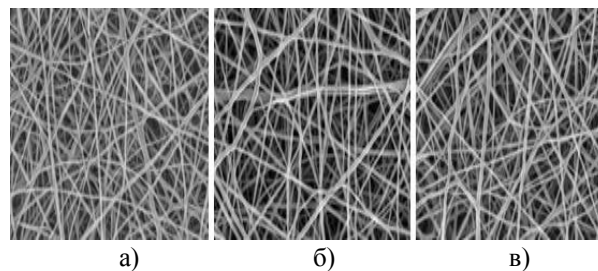


Рис. 3

Анализ экспериментальных данных (табл. 1) показал, что изменение диаметров электроформованных нановолокон при росте расхода волокнообразующего раствора в чистом виде составляет 2...9%, при этом для растворов, содержащих таргет-добавку глицерина, диаметры нановолокон несущественно снижаются. При всех значениях расходов прядильного раствора с переходом от формования композиции из чистого ПВС к ПВС с таргет-добавкой глицерин наблюдается рост средних значений диаметра волокна, причем при расходе 1,0 мл/ч происходит наибольший рост – 26...35 %, при расходе 1,3 мл/ч прирост среднего значения диаметра составляет 8...15 %, при расходе 1,6 мл/ч – 6...4 %. Подобное изменение диаметров нановолокон связано с тем, что глицерин является гигроскопичным, он удерживает влагу, и при добавлении его в прядильный раствор снижает темпы испарения растворителя при проведении процесса электроформования. Коэффициент вариации средних значений диаметра волокна находится в схожем диапазоне (16...29 %), что свидетельствует об однородности получаемого нановолокнистого материала.

Т а б л и ц а 1

Концентрация	Расход, мл/ч	Среднее значение диаметра волокна, нм	Коэффициент вариации, %
14 % ПВС	1,0	157,45	29,92
	1,3	171,77	21,86
	1,6	175,60	23,54
14 % ПВС + 4% глицерин	1,0	212,44	16,10
	1,3	185,73	24,21
	1,6	186,39	28,29
14 % ПВС + 7% глицерин	1,0	198,36	24,46
	1,3	197,76	21,61
	1,6	182,19	24,28

В процессе статистической обработки результатов исследований в натуральных величинах была получена модель, описывающая влияние расхода волокнообразующего раствора на диаметр волокна без добавления таргет-компонента глицерина:

$$d = 138 + 24Q, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр волокна без добавления таргет-компонента глицерина, нм;  $Q$  – расход волокнообразующего полимера, мл/ч.

Анализ экспериментальных данных, представленных в табл. 1, показал, что диаметр волокон, полученных из растворов с добавлением глицерина, снижается в случае повышения их расхода. Этот факт может быть объяснен следующей гипотезой. Так как увеличение расхода сопровождается повышением напряжения, подаваемого на коллектор и эмиттер, одновременно повышаются электростатические силы, воздействующие на формируемую струю. В результате этого составляющая струи, состоящая из глицерина, в пространстве между электродами утоняется в большей степени, чем при минимальном расходе раствора.

Установлено, что изменение диаметра волокна за счет добавления таргет-компонента глицерина в формовочный раствор описывается следующей моделью:

$$\Delta d = \frac{270}{Q^3} \frac{\beta}{12+\beta^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta d$  – изменение диаметра волокна за счет добавления таргет-компонента

глицерина в формовочный раствор, нм;  $\beta$  – процент глицерина в формовочном растворе, %.

На основании вышеуказанных моделей была построена следующая модель, описывающая влияние расхода формовочного раствора и содержание в нем таргет-компонента глицерина на среднее значение диаметра получаемых волокон:

$$D = d + \Delta d = 138 + 24Q + \frac{270}{Q^3} \frac{\beta}{12+\beta^2}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр волокна, нм.

## В Ы В О Д Ы

Для производства медицинских материалов с механизмом таргет-доставки лекарств может быть рекомендовано использовать глицерин. При этом, если целью стоит создание нанопористой сетки с механизмом таргет-доставки, рекомендовано добавление в формовочный раствор 8...10% таргет-компонента глицерина. В том случае, если требуется получение материала с четкой структурой, содержание таргет-компонента глицерина в формовочном растворе не должно превышать 8%. Анализ экспериментальных данных и математических моделей позволяет прогнозировать морфологические и структурные характеристики электроформованного нановолокнистого материала, получаемого из поливинилового спирта и таргет-компонента глицерина.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Okutan N., Terzi P., Altay F. Altay Affecting parameters on electrospinning process and haracterization of electrospun gelatin nanofibers // Food Hydrocoll. – 2014, 39. P. 19...26.
2. Xue J., Wu T., Dai Y., Xia Y. Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications // Chem. Rev. – 2019, 119 (8). P. 5298...5415.
3. Kerr-Phillips T., Travas-Sejdic J. Conducting Polymers: Electrospun Materials // Encyclopedia of Polymer Applications. – 2019. P. 602...623.
4. Chan E.W.C., Bennet D., Baek P., Barker D., Kim S., Travas-Sejdic J. Electrospun Polythiophene Phenylenes for Tissue Engineering // Biomacromolecules. – 2018, 19. P. 1456...1468.

5. Beikzadeh S., Akbarinejad A., Swift S., Perera J., Kilmartin P.A., Travas-Sejdic J. Cellulose acetate electrospun nanofibers encapsulating Lemon Myrtle essential oil as active agent with potent and sustainable antimicrobial activity // *React Funct Polym.* – 2020, 157. Art. 104769.

6. Kalantari K., Afifi A.M., Jahangirian H., Webster T.J. Biomedical applications of chitosan electrospun nanofibers as a green polymer // *Carbohydrate Polymers.* – 2019, 207. P. 588...600.

7. Etxabide A., Akbarinejad A., Chan E., Guerrero P., Caba K., Travas-Sejdic J., Kilmartin P.A. Effect of gelatin concentration, ribose and glycerol additions on the electrospinning process and physicochemical properties of gelatin nanofibers // *European Polymer Journal.* – 2022, 180. Art. 111597.

8. Bhardwaj N., Kundu, S.C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique // *Biotechnology Advances.* – 2010, 28. P. 325...347.

9. Deitzel J.M., Kleinmeyer J., Harris D., Beck Tan N.C. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles // *Polymer.* – 2001, 42. P. 261...272.

10. Матвеев А.Т., Афанасов И.М. Получение нановолокон методом электроформования. – М.: МГУ им. Ломоносова, 2010.

11. Дорошенко И.А. Влияние сшивающих агентов на набухание поливинилового спирта в воде // *Вестник ВГТУ, Химическая технология и экология.* – 2014, №27. С. 136...140.

12. Физиологически активные полимеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 10.10.2022.

13. Попова И.Н., Файнберг Е. Д., Лившиц Ю.Т. Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс. – Л.: Химия, 1977.

14. Химия. Глицерин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://himya.ru/glicerin.html>. – Дата доступа: 10.10.2022.

15. Рыклин Д.Б., Демидова М.А., Азарченко В.М., Скромная К.В. Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2021, №4. С. 121...128.

4. Chan E.W.C., Bennet D., Baek P., Barker D., Kim S., Travas-Sejdic J. Electrospun Polythiophene Phenylenes for Tissue Engineering // *Biomacromolecules.* – 2018, 19. P. 1456...1468.

5. Beikzadeh S., Akbarinejad A., Swift S., Perera J., Kilmartin P.A., Travas-Sejdic J. Cellulose acetate electrospun nanofibers encapsulating Lemon Myrtle essential oil as active agent with potent and sustainable antimicrobial activity // *React Funct Polym.* – 2020, 157. Art. 104769.

6. Kalantari K., Afifi A.M., Jahangirian H., Webster T.J. Biomedical applications of chitosan electrospun nanofibers as a green polymer // *Carbohydrate Polymers.* – 2019, 207. P. 588...600.

7. Etxabide A., Akbarinejad A., Chan E., Guerrero P., Caba K., Travas-Sejdic J., Kilmartin P.A. Effect of gelatin concentration, ribose and glycerol additions on the electrospinning process and physicochemical properties of gelatin nanofibers // *European Polymer Journal.* – 2022, 180. Art. 111597.

8. Bhardwaj N., Kundu, S.C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique // *Biotechnology Advances.* – 2010, 28. P. 325...347.

9. Deitzel J.M., Kleinmeyer J., Harris D., Beck Tan N.C. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles // *Polymer.* – 2001, 42. P. 261...272.

10. Matveyev A.T., Afanasov I.M. Obtaining nanofibers by electrospinning. – Moscow: Moscow State University. Lomonosov, 2010.

11. 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.

12. Physiologically active polymers [Electronic resource]. – Access mode: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Access date: 10.10.2022.

13. Popova I.N., Fainberg E.D., Livshits U.T. Economics of production and use of polymerization plastics // *Leningrad: Chemistry, 1977.*

14. Chemistry. Glycerol [Electronic resource]. – Access mode: <https://himya.ru/glicerin.html>. – Access date: 10.10.2022.

15. 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 (394). P. 121...128.

## REFERENCES

1. Okutan N., Terzi P., Altay F. Altay Affecting parameters on electrospinning process and haracterization of electrospun gelatin nanofibers // *Food Hydrocoll.* – 2014, 39. – P. 19...26.

2. Xue J., Wu T., Dai Y., Xia Y. Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications // *Chem. Rev.* – 2019, 119 (8). P.5298...5415.

3. Kerr-Phillips T., Travas-Sejdic J. Conducting Polymers: Electrospun Materials // *Encyclopedia of Polymer Applications.* – 2019. P. 602...623.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22

УДК 677.025

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_81

**АНАЛИЗ РАССТАНОВКИ НИТЕВОДОВ  
ПРИ ВЫРАБОТКЕ ТРИКОТАЖА СЛОЖНЫХ СТРУКТУР**

**THE ANALYSIS OF THE YARN FEEDERS ARRANGEMENT  
IN THE TECHNOLOGY OF COMPLEX KNITTED STRUCTURES**

*Т.В. МУРАКАЕВА, Е.В. НИКОЛАЕВА*

*T.V. MURAKAEVA, E.V. NIKOLAEVA*

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

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

E-mail: murakaeva-tv@rguk.ru; nikolaeva-ev1@rguk.ru

*В настоящее время существует большое количество плосковязального оборудования, оснащенного различным количеством петлеобразующих и петлепереносящих систем, а также отличающегося количеством нитеводо- дов [1...3]. Рациональная расстановка нитеводо- дов на разных модификациях плосковязального оборудования является одной из важных задач, решение которой позволит получать качественные изделия и увеличить производи- тельность их выработки. В работе рассмотрены варианты расстановки нитеводо- дов на плосковязальном оборудовании при выработке трикотажных полотен ряда рисунчатых переплетений. Проведен анализ оптимального ритма смены нитеводо- дов. Проанализировано влияние различных факторов на расстановку нитеводо- дов на плосковязальном оборудовании. Выявлены ос- новные положения, позволяющие осуществить рациональную схему расста- новки нитеводо- дов при вязании различных трикотажных структур с приме- нением дополнительных операций.*

*Currently, there are a large number of flat-knitting equipment equipped with a different number of loop-forming and loop-carrying systems, as well as differing in the number of thread-carriers [1...3]. The rational arrangement of thread weavers on different modifications of flat-knitting equipment is one of the important tasks, the solution of which will allow to obtain high-quality products and increase the productivity of their production. The paper considers options for the placement of thread weavers on flat-knitting equipment for the production of knitted fabrics of the patterned weaves number. The analysis of the optimal rhythm of the filaments change is carried out. The influence of various factors on the arrangement of the thread guides on the flat-knitting equipment is analyzed. The main provisions allow- ing to carry out a rational scheme of the threads arrangement during knitting vari- ous knitwear with the use of additional operations are revealed.*

**Ключевые слова:** нитевод, переплетение, схема расстановки нитеводов, вязальная система, петлепереносная система.

**Keywords:** threader, weave, arrangement scheme of threaders, knitting system, loop-carrying system.

Выработка структур с использованием нескольких цветов или нитей требует возможности смены нитеводов и их правильной расстановки для обеспечения бесперебойного процесса вязания. При составлении программ проектирования рисунка для простых случаев и несложных структур расчет необходимого числа нитеводителей и их расстановка осуществляются программой вязального оборудования автоматически.

Однако существуют структуры, для выработки которых программа, заложенная в оборудовании, не в состоянии осуществить такую процедуру, и разработку ритма или схемы работы нитеводителей и их расстановку необходимо производить вручную путем внесения данных в программу вязания рисунка или формы изделия. Таким случаем является, например, выработка интарзийных переплетений или выработка сложной формы изделий с многоцветным узором [4], [5].



Рис. 1

Рассмотрим влияние фактора максимального количества установленных на машине нитеводителей и числа систем на машине на оптимальную схему их работы на

примере двух вариантов выработки кулирного одинарного трехцветного жаккардового переплетения на плосковязальной двухсистемной машине фирмы Staiger модели Vesta 130E, имеющей в стандартной комплектации количество нитеводителей  $N = 8$  (рис. 1 – исходные данные для разработки схемы работы нитеводов на примере жаккардового переплетения).

В первом варианте схема работы нитеводов при использовании в работе двух вязальных систем без применения холостых ходов показывает, что реализовать предложенный патрон узора можно, используя 6 нитеводителей по 2 для нитей каждого цвета или вида при их расстановке перед началом работы (рис. 2 – разработки схемы работы нитеводов на примере жаккардового переплетения для машины с двумя вязальными системами. Вариант 1), что не превышает установленное число нитеводителей на вязальной машине Vesta 130E.

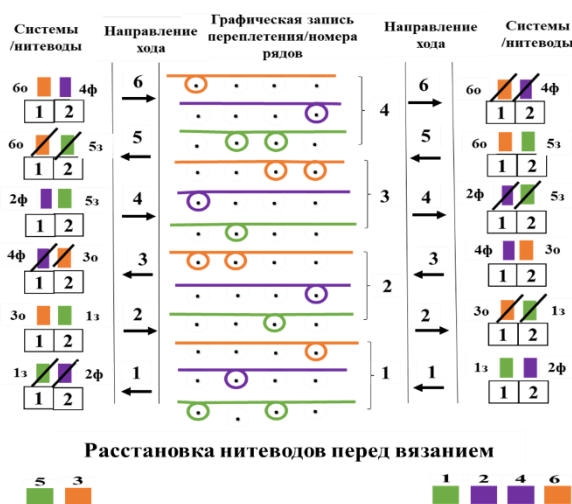


Рис. 2

Однако при выработке купонов и деталей необходимо предусмотреть обычно не менее 2 нитеводителей для обеспечения заработки края и других дополнительных участков (отработка, разделительный ряд и т.д.), что может потребовать их большего

количества, чем установлено на выбранном оборудовании. Поэтому для выработки такой структуры на данной конкретной модели вязальной машины можно применить следующие варианты.

1. Вырабатывать узор, используя одну вязальную систему, но данный вариант повлечет за собой значительное увеличение времени выработки.

2. С помощью разработки схемы работы нитеводов, учитывая необходимые факторы и принципы, разработать оптимальную технологию их работы.

При разработке оптимального варианта получения заданного узора на выбранной модификации вязального оборудования необходимо решить задачи:

- использование в работе меньшего количества нитеводителей;
- по возможности использовать все вязальные системы в работе;
- уменьшить время на его выработку (исключить или минимизировать холостые ходы).



Рис. 3

В предлагаемой схеме (рис. 3 – разработки схемы работы нитеводов на примере жаккардового переплетения для машины с двумя вязальными системами. Вариант 2) используется число нитеводителей, равное количеству числа цветов (видов) нитей, образующих переплетение. При такой

технологической последовательности выработки узора через каждые два хода каретки два хода подряд в вязальной каретке работает только одна петлеобразующая система. Для выработки таким образом заданного раппорта требуется 8 ходов каретки, что всего на 2 хода меньше предыдущего варианта.

Следует отметить, что получение такого варианта работы нитеводов возможно только в ручном режиме разработки схемы работы нитеводов с последующим внесением в программу вязального оборудования полученных данных о числе нитеводителей, необходимых для реализации заданной структуры и их расстановке перед началом ее вязания.

Наиболее сложные схемы расстановки нитеводителей возникают при выработке многоцветных узоров в комбинации с дополнительными технологическими операциями (перенос, сброс).

Если рассматривать расстановку нитеводителей для узоров с дополнительными технологическими операциями, например, петлепереноса, необходимо учитывать возможности вязальных систем, установленных на оборудовании. Так как на машинах фирм Steiger, Stoll и других, как правило, все системы имеют возможность осуществлять процесс петлеобразования и петлепереноса, то при разработке схемы работы нитеводителей необходимо задействовать эти возможности максимально для составления наиболее оптимальной и эффективной схемы их работы.

Рассмотрим примеры составления схем работы нитеводителей на трикотаже ажурных переплетений, вырабатываемом с помощью операции переноса элементов структуры трикотажа. Для этого рассмотрим основные варианты переноса петель на базе кулирной глади.

Как известно, для осуществления автоматического петлепереноса на вязальном оборудовании должны выполняться ряд условий:

1. Необходима возможность сдвига игольниц на 0,25 игольного шага и более, что обеспечивается почти всем современным плосковязальным оборудованием.



2. Наличие "пустых" игл (без элементов структуры) на противоположной игольнице для осуществления переноса.

Также следует помнить, что перенос петель производится после образования петельного ряда, и вязальная система, являясь вязущей и петлепереносящей, одновременно образуют элементы структуры и переносить их не может.

Первый пример выполнения элементарного ажурного эффекта на базе глади путем переноса петли на соседнюю иглу по одной игольнице и его графическая запись представлены на рис. 4 (исходные данные для разработки схемы работы нитеводов на примере ажурного переплетения. Вариант 1). По графической записи видно, что для его получения необходимо выполнить 3 цикла: один цикл петлеобразования и два цикла для переноса петли.



Рис. 4

Схема работы нитеводителей при таком петлепереносе для выработки на двухфонтурной машине представлена на рис. 5 (разработки схемы работы нитеводов на примере ажурного переплетения для машины с двумя вязальными системами. Вариант 1).

Первый ход каретки обеспечивает вязание сразу двух рядов переплетения с использованием двух нитеводов. На втором ходу одна система работает как петлепереносящая и переносит петли согласно узору на иглы противоположной игольницы, другая же система выключается из работы, так как вязание на этом этапе не должно производиться.

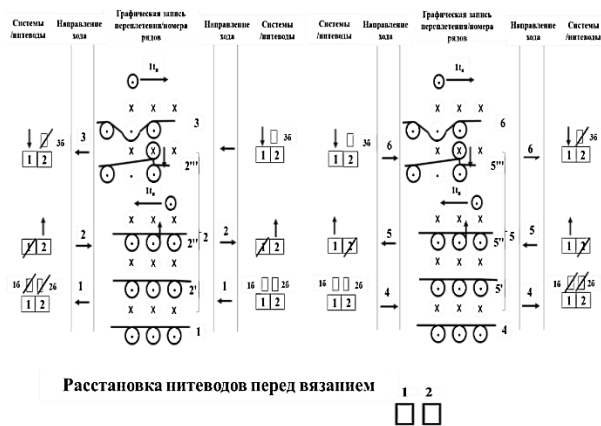


Рис. 5

После второго хода каретки необходим сдвиг игольницы для расположения игл в положение, необходимое при обратном переносе петли на нужную иглу. Третьим ходом осуществляется обратный перенос одной системой, другая при этом образует следующий петельный ряд. Далее комбинация работы нитеводителей повторяется, начинаясь с другой стороны, после чего схему можно считать законченной, так как нитеводители выходят на исходную позицию с правой стороны игольницы.



Рис. 6

Второй вариант ажурного трикотажа представлен на рис. 6 (исходные данные для разработки схемы работы нитеводов на примере ажурного переплетения. Вариант 2) и представляет собой перенос двух петель с игл 2, 4 на соседние иглы 1, 5 одной игольницы в разных направлениях.



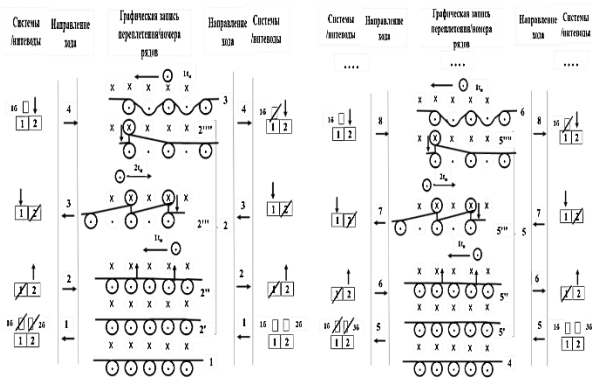


Рис. 7

При разработке такой схемы с максимальным использованием систем в работе и исключением холостых ходов (рис. 7 – пример схемы работы нитеводителей на примере ажурного переплетения для машины с двумя вязальными системами. Вариант 2)

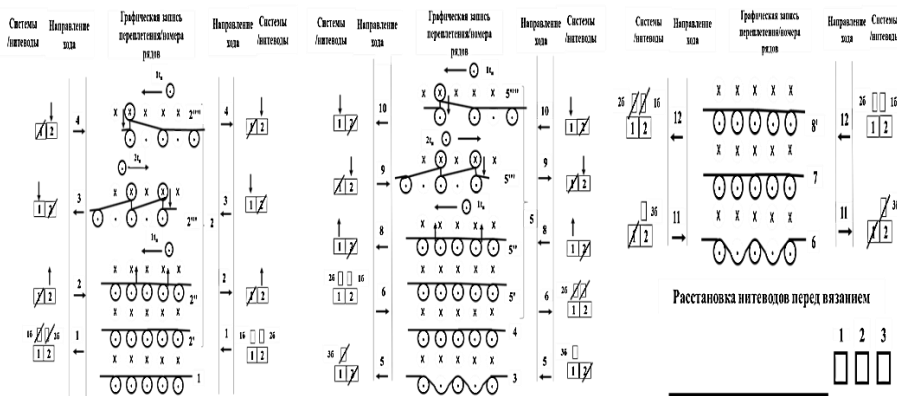


Рис. 8

Таким образом, для разработки схемы работы нитеводителей на плосковязальных машинах, определения их количества для выработки заданного переплетения или узора и расстановки перед началом выработки используется методика детального анализа технологии выработки заданных структур с учетом всех факторов, которые могут оказывать влияние на работу нитеводителей на конкретном виде оборудования.

Рассмотренные варианты схем работы нитеводителей на примере различных переплетений подтверждают влияние выделенных факторов и принципов на технологию работы нитеводителей. Только с учетом всех выделенных критериев возможно получить наиболее рациональный вариант использования нитеводителей и возможностей

анализ работы нитеводителей показал, что при таком варианте необходимо постоянно добавлять новый нитеводитель с одной и той же стороны, что приведет к использованию всех установленных на машине нитеводителей и остановки вязания.

Пример 2, приведенный на рис. 8 (пример схемы работы нитеводителей на примере ажурного переплетения для машины с двумя вязальными системами. Вариант 2), представляет схему работы нитеводителей при выработке переносов петель в разные стороны без применения холостых ходов каретки, но с выработкой части циклов одной системой. Для составления рациональной схемы работы нитеводителей в этом случае необходимо рассмотреть также два раппорта узора для получения законченного раппорта их работы.

вязального оборудования при выработке различных структур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства. – М.: Легпромбыт-издат, 1991.
2. Заваруев В.А., Строганов Б.Б. Современные трикотажные машины. – М.: МГУДТ, 2015.
3. Кудрявин Л.А., Колесникова Е.Н., Галактионова А.Ю., Муракаева Т.В. Разработка программ плосковязальных машин фирмы "Штайгер". – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2008.
4. Пеньковская Д.А., Кудрявин Л.А. Анализ работы нитеводителей и расчет эффективной их расстановки на плосковязальной машине при вязании деталей изделия, учитывая сбавки и прибавки// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности – 2014, № 1. С. 94...97.

5. Николаева Е.В., Муракаева Т.В. Разработка программы работы нитеводителей на плосковязальном оборудовании с электронным управлением// В сб. мат. Междунар. научн.-технич. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации - 2015) – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина. Т. 1. С. 44...46.

#### REFERENCES

1. Kudryavin L.A., Shalov I.I. Fundamentals of knitting production technology. – М.: Legprombytizdat, 1991.
2. Zavaruev V.A., Stroganov B.B. Modern knitting machines. – М.: MGUDT, 2015.
3. Kudryavin L.A., Kolesnikova E.N., Galaktionova A.Yu., Murakaeva T.V. Development of programs for flat-knitting machines of the firm "Steiger". – М: "Kosygin Moscow State Technical University", 2008.

4. Penkovskaya D.A., Kudryavin L.A. Analysis of the work of thread breeders and calculation of their effective placement on a flat-knitting machine when knitting product parts, taking into account discounts and additions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2014, No. 1. P. 94...97.

5. Nikolaeva E.V., Murakaeva T.V. Development of a program for the work of thread makers on flat-knitting equipment with electronic control// Article in the collection of materials of the International scientific and technical conference Design, Technologies and Innovations in Textile and Light Industry (innovations - 2015) - Moscow: Moscow State University of Design and Technology. - Vol. 1. P. 44...46.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий. Поступила 90.09.22.

УДК 677.025  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_86

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА СЫРЬЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВУХСЛОЙНОГО ТРИКОТАЖА

## RESEARCH OF THE RAW MATERIALS INFLUENCE ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DOUBLE-LAYER KNITWEAR

*Т.К. АЛЛАМУРАТОВА, М.М. МУКИМОВ, Г.Ш. АЛЛАНИЯЗОВ*

*T.K. ALLAMURATOVA, M.M. MUKIMOV, G.SH. ALLANIYAZOV*

(Каракалпакский государственный университет им. Бердаха, Республика Узбекистан)

(Berdakh Karakalpak State University, Republic of Uzbekistan)

E-mail: tamaraallamuratova67@gmail.com

*Разработаны новые структуры трикотажных полотен и способов их выработки путем расширения технологических возможностей современного трикотажного оборудования, что позволяет решить ряд важных задач трикотажного производства: получение конкурентоспособных изделий нового ассортимента с регулированием свойств и цены в широком диапазоне.*

*Все варианты двухслойного трикотажа были выработаны в одинаковых условиях: натяжение, глубина кулирования нити и сила оттяжки трикотажа были одинаковыми.*

*Исследуемые образцы двухслойного трикотажа были выработаны из пряжи различного состава в различном сочетании используемого вида пряжи на одной и другой сторонах полотна.*

*Вид используемой пряжи при выработке образцов двухслойного трикотажа влияет на его технологические параметры, несмотря на то, что все*

*образцы выработаны одинаковым переплетением. Это означает, что имеется возможность расширить ассортимент двухслойного трикотажа и уменьшить расход сырья при выработке его не только за счет изменения переплетения, но и за счет правильного подбора пряжи.*

*New structures of knitted fabrics and methods of their production have been developed by expanding the technological capabilities of modern knitted equipment allowing to solve a number of important problems of knitted fabrics: obtaining competitive products of a new assortment with regulation of properties and prices in a wide range.*

*All versions of double-layer knitwear were produced under the same conditions: the yarn tension, draw level and take-down tension of the knitted fabric were the same.*

*The investigated samples of double-layer knitwear were made from yarns of various compositions in various combinations of the yarn type used on one and the other side of the fabric.*

*Analyzing the test results, it can be noted that the type of yarn used in the production of double-layer knitwear samples affects its technological parameters, despite the fact that all samples are produced with the same weave. This means that it is possible to increase the assortment of double-layer knitwear and reduce the consumption of raw materials when producing it, not only by changing the weave, but also by choosing the right yarn for making knitwear.*

**Ключевые слова:** двухслойный трикотаж, структура, графическая запись, технологические параметры, поверхностная плотность, плоскофанговая машина.

**Keywords:** double-layer knitwear, structure, graphic recording, dimensional parameters, fabric weight, flat-bed machine.

В мире уделяется особое внимание повышению качества текстильной продукции и выработке готовой продукции путем внедрения новых технологий по переработке текстильных материалов.

В работе [1] для исследования влияния элементов жаккардового, прессового и неполного переплетений на параметры и свойства ластичного трикотажа были выработаны из хлопчатобумажной пряжи линейной плотностью 20 текс x 4 образцы трикотажа жаккардового, прессового и неполного переплетения.

В работе [2] исследовано влияние количества прессовых петель на физико-механические свойства трикотажа ластичного переплетения. Работа посвящена проектированию новых структур трикотажных переплетений пониженной материалоемкости и изделий из них.

В работе [3] исследованы гигиенические свойства прессового трикотажа, выработанного из биоактивных волокон.

Исследование [4] посвящено разработке трикотажных полотен на базе прессового переплетения, выработанных из смеси шерстяных и полиамидных волокон, и предназначенных для верхних изделий зимнего ассортимента.

В работе [5] разработана структура и способ получения одинарного кулирного трикотажа прессовых переплетений увеличенной толщины и объемности, которую можно получить, если в структуре трикотажа ветви группы набросков, соединяющие прессовую петлю с соседними петельными столбиками, будут перекрещиваться и поочередно располагаться друг над другом по толщине трикотажа.

В представленной работе [6] для уменьшения расхода сырья при выработке двухслойного трикотажа предлагается включить в структуру трикотажа уточную нить. Сопоставляя объемную плотность двухслойного трикотажа различной структуры, можно убедиться в том, что наличие в структуре двухслойного трикотажа уточной нити не только уменьшает объемную плотность, но и повышает формоустойчивость трикотажа.

С целью снижения материалоемкости двухслойного трикотажа разработаны новые структуры с включением элементов прессовых переплетений [7]. Анализ полученных результатов показал, что с изменением структуры трикотажа можно наблюдать изменение петельного шага и ширины полотна. По результатам исследования технологических параметров можно отметить: сравнение образцов трикотажа между собой по объемной плотности показало, что наименьшей объемной плотностью обладает трикотаж прессового переплетения, т.к. толщина прессового трикотажа больше, чем у остальных переплетений. Эти варианты двухслойного трикотажа требуют меньшего расхода сырья. Кроме этого, улучшается внешний вид трикотажа, наличие в структуре трикотажа элементов прессовых переплетений придает трикотажу объемность, полотна имеют высокие теплозащитные свойства и формоустойчивость. Трикотаж прессовых переплетений используют не только для получения рисунчатых эффектов, но и для изменения свойств главных переплетений.

Изменение структуры трикотажа влияет не только на технологические параметры, а также приводит к изменению свойств трикотажа.

В работе [8] разработаны новые структуры двухслойного трикотажа с элементами прессовых и неполных переплетений, что позволяет снизить расход сырья, а также улучшить формоустойчивость трикотажа.

Двухслойный трикотаж различной структуры имеет общую особенность: каждый его слой представляет собой самостоятельное полотно главного, производного,

рисунчатого или комбинированного одинарного переплетения. Полотна или слои соединены в процессе вязания изнаночными сторонами посредством каких-либо элементов петельной структуры так, что, распустив одно переплетение, можно сохранить другое, не нарушая петельные связи. Таким образом, имеются широкие возможности по расширению ассортимента двухслойного трикотажа не только за счет сочетания различных переплетений, но и благодаря выработке его из различного вида пряжи.

Поэтому целесообразно изучение влияния прессовых набросков в структуре двухслойного трикотажа и вида пряжи на параметры и свойства двухслойного трикотажа. Такое исследование позволяет расширить область практического использования двухслойного трикотажа согласно выявленным его свойствам.

В связи с этим на плоскофанговой машине типа КН - 323В из пряжи разного вида были выработаны 7 образцов двухслойного трикотажа, имеющих одинаковое строение. В качестве базового был выработан образец переплетением ластик 1+1 из хлопчатобумажной пряжи линейной плотностью 20 текс x 4.

Строение и графическая запись исследуемого переплетения двухслойного трикотажа показаны на рис. 1. Трикотаж состоит из удлиненных изнаночных 1, лицевых петель 2, набросков 3, петель 4 нормальной величины и протяжек 5.

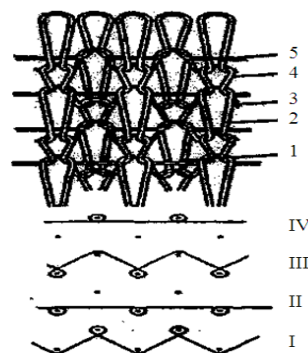


Рис.1

При выработке данных образцов двухслойного трикотажа был использован прессовый способ соединения.

Все варианты двухслойного трикотажа были выработаны в одинаковых условиях, т.е. натяжение, глубина кулирования нити и сила оттяжки трикотажа были одинаковыми.

Исследуемые образцы двухслойного трикотажа были выработаны из пряжи различного состава в различном сочетании используемого вида пряжи на одной и другой сторонах полотна.

Технологические параметры двухслойного трикотажа определены экспериментальными методами, а результаты измерений и данные заправки приведены в табл. 1.

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что вид используемой пряжи при выработке образцов двухслойного трикотажа влияет на его технологические параметры, несмотря на то, что все образцы выработаны одинаковым переплетением.

Изменение заправки влияет на ширину полотна. Ширина полотна двухслойного трикотажа меняется в пределах от 53 см (на 2,9% больше базового) до 69 см (на 32,8% больше базового) (табл. 1).

Двухслойный трикотаж имеет меньшую плотность как по горизонтали, так и по вертикали, чем базовый образец.

Т а б л и ц а 1

Показатели		Варианты							
		0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Заправка нитей в полотне	изнаночная сторона	х/б 20 текс х 4	х/б 20 текс х 3	х/б 20 текс х 4	ПАН 61 текс х 1	ПАН 81 текс х 1	х/б 20 текс х 3	х/б 20 текс х 4	х/б 20 текс х 3
	лицевая сторона	-	х/б 20 текс х 3	х/б 20 текс х 4	ПАН 61 текс х 1	ПАН 81 текс х 1	ПАН 61 текс х 1	ПАН 81 текс х 1	шелк 31 текс х 2
Ширина полотна, см		52,32	62,44	53,84	63,14	57,67	69,52	65,72	61,72
Петельный шаг А, мм		1,56	1,89	1,96	2	2,06	2,2	2,04	1,75
Высота петельного ряда В, мм		0,91	1,25	1,25	0,83	1,1	1	2,38	1,1
Плотность по горизонтали $P_H$ , петель		32	26	25	25	24	23	24	29
Плотность по вертикали $P_V$ , петель		55	40	40	60	45	50	21	45
Длина нити в петле $\ell$ , мм	первый ряд раппорта $L_1$	4,86	5,18	5,48	4,68	5,06	4,76	5,6	4,97
	второй ряд раппорта $L_2$	-	4,94	5,32	4,66	4,87	4,69	5,4	4,63
Поверхностная плотность трикотажа $\rho$ , г/м <sup>2</sup>		479,4	390,7	531,95	480,95	480,9	407,4	511,05	289,5
Толщина М, мм		1,67	1,88	1,93	1,97	2	1,8	1,89	1,8
Объемная плотность $\delta$ , мг/см <sup>3</sup>		287,09	207,82	275,62	244,14	240,45	226,33	270,4	160,8
Абсолютное объемное облегчение $\Delta\delta$ , мг/см <sup>3</sup>		-	79,3	11,5	43	47	61	17	126
Относительная облегченность $\theta$ , %		-	28	4	15	16	21	6	44

Также базовый образец отличается высокой поверхностной плотностью. Хотя базовый образец выработан не двухслойным переплетением, он имеет треть по величине значение поверхностной плотности

после вариантов II и VI. Здесь наблюдается влияние плотности пряжи на поверхностную плотность полотна. Самыми материальными оказались варианты, выработанные из хлопчатобумажной пряжи линейной

плотностью 20 текс х 4 и сочетания этой пряжи на одной стороне с ПАН пряжей линейной плотностью 81 текс х 1 на другой стороне двухслойного полотна.

Поверхностная плотность образцов двухслойного трикотажа (рис. 2 – гистограмма зависимости поверхностной плотности от вида пряжи) меняется от 289,5 (вариант VII) до 531,95 г/м<sup>2</sup> (вариант II).

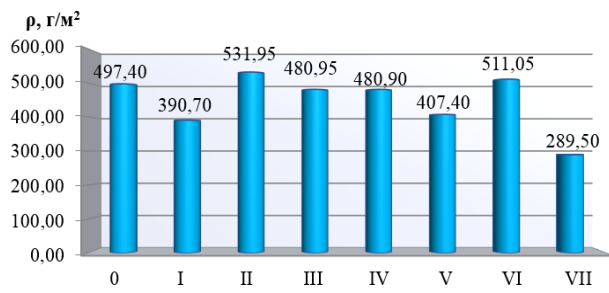


Рис. 2

Объемная плотность всех вариантов двухслойного трикотажа также меньше объемной плотности базового переплетения ластик 1+1 (рис.3 – гистограмма зависимости объемной плотности от вида пряжи). В зависимости от используемого вида пряжи объемная плотность двухслойного трикотажа меняется в пределах от 160,8 (вариант VII) до 275,62 (вариант II) мг/см<sup>3</sup>.

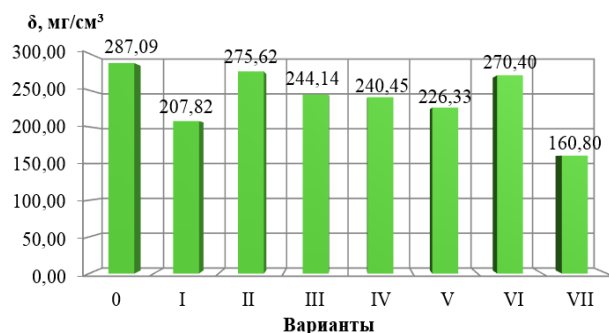


Рис. 3

Наименьшая объемная плотность у VII варианта двухслойного трикотажа при поверхностной плотности ρ=289,5 г/м<sup>2</sup> и толщине М=1,8 мм равна 160,8 мг/см<sup>3</sup>. Абсолютное объемное облегчение, по сравнению с базовым, составляет:

$$\Delta\delta = \delta_0 - \delta = 287,09 - 160,8 = 126 \text{ мг/см}^3,$$

где  $\Delta\delta$  – абсолютная объемная облегченность мг/см<sup>3</sup>;  $\delta_0$  – объемная плотность базового полотна мг/см<sup>3</sup>;  $\delta$  – объемная плотность опытного полотна мг/см<sup>3</sup>.

Относительное облегчение составляет:

$$\theta = (1 - \delta / \delta_0) \cdot 100\% = (1 - 160,8 / 287,09) \cdot 100\% = 44\%.$$

Значения поверхностной плотности, толщины полотна и объемной плотности остальных вариантов приведены в табл. 1.

Толщина образцов двухслойного трикотажа измерялась в толщиномере при давлении 8 г/см<sup>2</sup>. Давление на полотно не должно превышать 10 г/см<sup>2</sup>.

Анализируя полученные результаты, следует сделать вывод, что VII вариант двухслойного трикотажа можно рекомендовать, как структуру переплетения с наименьшим расходом сырья по сравнению с базовым вариантом. Для образцов, выработанных из ПАН волокон, характерно то, что с увеличением линейной плотности пряжи уменьшается плотность по вертикали и по горизонтали. За счет этого поверхностная плотность с изменением линейной плотности пряжи практически не изменяется.

Можно отметить то, как изменяется поверхностная плотность полотен, обе стороны которых выработаны из одинаковой пряжи, если одну из сторон выработать из другого вида пряжи.

Если поверхностная плотность варианта I – 390,7 г/м<sup>2</sup>, то поверхностная плотность варианта V – 407,4 г/м<sup>2</sup>, т.е. на 4,3% больше. Отсюда видно, что кроме высокой стоимости ПАН пряжа имеет такой недостаток, как большую материалоемкость.

Если рассматривать вариант II и вариант VI, то с заменой хлопчатобумажной пряжи на ПАН на одной его стороне поверхностная плотность уменьшается с 531,9 до 511 г/м<sup>2</sup>, т.е. на 4,1%.

Если же в варианте I одну сторону выработать из шелковой нити (вариант VII), то поверхностная плотность уменьшится с 390,7 до 289,5 г/м<sup>2</sup>, т.е. материалоемкость полотна можно уменьшить на 34,9%.

## ВЫВОДЫ

1. На основе проведенного анализа технологических параметров следует, что вид пряжи, из которой вырабатывается двухслойное полотно, и способы ее сочетания влияют на параметры трикотажа. Это означает, что имеется возможность расширить ассортимент двухслойного трикотажа и уменьшить расход сырья при выработке его не только за счет изменения переплетения, но и за счет правильного подбора пряжи для изготовления трикотажа. При этом можно получать двухслойный трикотаж, который имеет лучшее качество и меньшую материалоемкость даже по сравнению с двойными переплетениями.

2. Из анализа полученных результатов следует сделать вывод, что за счет облегчения на 44% по сравнению с базовым вариантом VII вариант двухслойного трикотажа имеет наименьший расход сырья.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Холиков К.М., Гуляева Г.Х., Мирусманов Б.Ф., Мукимов М.М. Исследование технологических параметров рисунчатого трикотажа // Проблемы текстиля. – 2012, № 3. С. 14...19.
2. Мирхаликов Ж.У., Байжанова С.Б., Джанпаизова В.М., Сагитова Г.Ф. Исследования влияния количества прессовых петель на физико-механические свойства трикотажных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.178.
3. Elena Onofrei. The properties of knitted fabrics for bio-functional textiles // Bul. Inst. Polit. Iasi. – t. LVI (LX), f. 2, 2010. P. 75...84.
4. Nergiz Emirhanova, Yasemin Kavusturan. Effects of Knit Structure on the Dimensional and Physical Properties of Winter Outerwear Knitted Fabrics // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – April / June 2008, Vol. 16, No. 2 (67).
5. Комаров Н.М., Фомина О.П., Пивкина С.И., Колесникова Е.Н. Одинарный кулирный трикотаж прессовых переплетений с перекрещивающимися набросками // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 6. С. 183...185.
6. Allamuratova T.K., Mukimov M.M. Investigation of technological parameters and physic-mechanical properties of an inlay knitted fabric on the base of double-layer stitch // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India. – Vol. 5, Issue 2, February 2018. P. 5136...5141.

7. Алламуратова Т.К., Гуляева Г.Х., Мукимов М.М. Исследование технологических параметров и физико-механических свойств двухслойного трикотажа с пониженной материалоемкостью // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019. 1/43. С. 86...89.

8. Алламуратова Т.К., Гуляева Г.Х., Мукимов М.М. Новая технология получения двухслойного трикотажа. // Дизайн. Материалы. Технология. – 2018. 1[43]. С. 72...75.

## REFERENCES

1. Kholikov K.M., Gulyaeva G.Kh., Mirusmanov B.F., Mukimov M.M. Investigation of technological parameters of patterned knitwear // J. Problems of textiles. – 2012, No. 3. S. 14 ... 19.
2. Mirkhalikov Zh.U., Baizhanova S.B., Dzhapanpaizova V.M., Sagitova G.F. Studies of the influence of the number of press loops on the physical and mechanical properties of knitted fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, No. 1. P.178.
3. Elena Onofrei. The properties of knitted fabrics for bio-functional textiles // Bul. Inst. Polit. Iasi. – t. LVI(LX), f. 2, 2010. P. 75...84.
4. Nergiz Emirhanova, Yasemin Kavusturan. Effects of Knit Structure on the Dimensional and Physical Properties of Winter Outerwear Knitted Fabrics // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – April / June 2008, Vol. 16, no. 2 (67).
5. Komarov N.M., Fomina O.P., Pivkina S.I., Kolesnikova E.N. Single jersey of press weaves with crossed outlines // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, No. 6. P. 183...185.
6. Allamuratova T.K., Mukimov M.M. Investigation of technological parameters and physic-mechanical properties of an inlay knitted fabric on the base of double-layer stitch // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India. Vol. 5, Issue 2, February 2018. P. 5136...5141.
7. Allamuratova T.K., Gulyaeva G.Kh., Mukimov M.M. Investigation of technological parameters and physical and mechanical properties of two-layer knitwear with reduced material consumption // Izv. universities. Light industry technology. – 2019. 1/43. pp. 86...89.
8. Allamuratova T.K., Gulyaeva G.Kh., Mukimov M.M. A new technology for producing two-layer knitwear. // Design. Materials. Technology. – 2018. 1[43]. S. 72...75.

Рекомендована кафедрой технологии промышленности. Поступила 13.11.22.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕРДА  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ  
С ПЕРЕВЯЗКОЙ ОДНОЙ СИСТЕМОЙ НИТЕЙ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ\***

**CALCULATION OF THE REED PARAMETERS  
IN TECHNOLOGY OF THREE-DIMENSIONAL ORTHOGONAL FABRICS  
WITH CROSSLINK BY A SINGLE SYSTEM OF THREADS  
IN THE FORMATION ZONE**

*А. ХАБИБУЛЛОЕВ, А.П. ГРЕЧУХИН, П.Н. РУДОВСКИЙ; И.В. СТАРИНЕЦ, А.В. КУЛИКОВ  
A. KHABIBULLOEV, A.P. GRECHUKHIN, P.N. RUDOVSKY, I.V. STARINETS, A.V. KULIKOV*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: niskstu@yandex.ru

*В статье рассматривается подход к расчету параметров зуба берда при формировании трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования и многоуточным прокладыванием нитей горизонтального утка. Получены зависимости, которые связывают величины перемещения берда по вертикали и горизонтали с конструктивными размерами зуба берда. Получены формулы, позволяющие провести оценку максимально возможного размера вспомогательного зева, для прокладки кромочной нити, фиксирующей нити вертикального утка при формировании 3D-ортогональных тканей.*

*The article discusses the approach to calculating the parameters of the reed tooth in the formation of three-dimensional orthogonal tissues with ligation with one system of threads in the formation zone and multiple laying of horizontal weft threads. Relationships are obtained that relate the magnitude of the reed vertical and horizontal movement with the design dimensions of the reed tooth. Formulas have been obtained making it possible to estimate the maximum potential size of the auxiliary shed for laying the hem thread of the vertical weft fixing thread when forming 3D orthogonal fabrics.*

**Ключевые слова:** трехмерная ортогональная ткань, зуб берда, бердо, зев, перевязка нитей, кромочные нити, многоуточная прокладка нитей.

**Keywords:** three-dimensional orthogonal fabric, reed tooth, reed, pharynx, thread binding, edge threads, multi-thread laying of threads.

Трехмерные тканые материалы получают широкое распространение. Их используют для изготовления различных изделий – лопаток в авиационных двигателях

[1], средствах защиты от пуль [2], [3], в качестве конструкционных материалов [4...8], для изготовления комбинированных антенн [9]. Из группы трехмерных тканых

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20089, <https://rscf.ru/project/22-29-20089/>



материалов можно выделить трехмерные ортогональные ткани. Изделия на их основе из-за отсутствия изгиба нитей в слоях ткани имеют повышенную на 15...20% прочность к ударным воздействиям [4], [5].



Рис. 1

При этом существуют различные технологические подходы к формированию трехмерных ортогональных тканей [10...13], на основе которых разработана технология получения трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования [14...16]. Методика построения трехмерной модели ткани, полученной по такой методике, приведена в [17]. В данной технологии перемещение вертикальных уточных нитей осуществляется бердом в зоне формирования. Для этого в зубе берда имеется полость [14]. Полость может быть выполнена как закрытой, так и с окошком для контроля состояния нити (рис. 1).

Ее расположение вместе с конфигурацией нитей основы в рабочей зоне будет определять вспомогательный зев – пространство, образованное нитями, через которое с помощью кромочного фиксатора (рапиры) вводится кромочная нить, обеспечивающая фиксацию утка. Расположение берда при прокладывании кромочной нити показано на рис.2.

На рис. 2 представлены: 1 – бердо; 2 – полость берда; 3 – нити вертикального утка; 4 – нити основы.

Целью настоящей работы является разработка метода расчета параметров зуба берда для определения конструктивно-заправочной линии ткацкого станка при выработке трехмерной ортогональной ткани с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования.

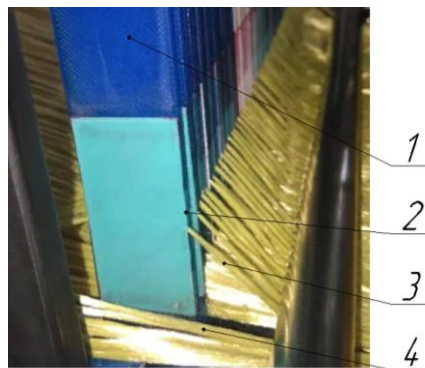


Рис. 2

### Методы

Предлагаемый метод расчета не учитывает изгибную жесткость нитей и их трение об элементы оснастки [18]. Положение нитей основы и вертикального утка в зоне формирования представлено на рис. 3.

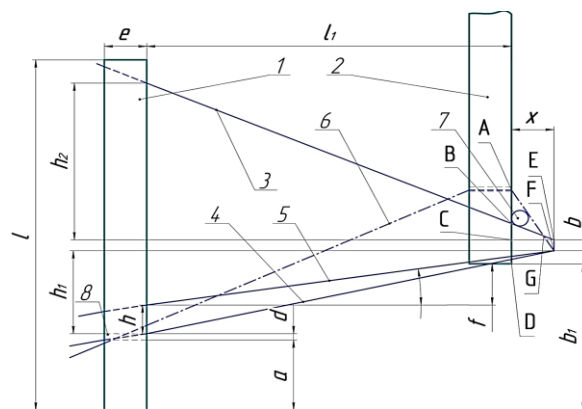


Рис. 3

На рис. 3: 1 – бердо в начальном положении; 2 – бердо в момент прокладывания вертикального утка; 3 – верхняя ветвь нитей основы; 4 – нити вертикального утка; 5 – нижняя ветвь нитей основы; 6 – нить вертикального утка в момент крайнего положения при прокладывании вертикального утка; 7 – кромочный фиксатор (рапира); 8 – полость берда для нитей вертикального утка; а – расстояние от нижней кромки зуба

берда до полости, куда продевается нить утка;  $\ell_1$  – величина горизонтального перемещения берда;  $\ell$  – высота зуба берда;  $e$  – ширина зуба берда;  $h$  – расстояние между нитями вертикального утка (поз. 5) и нижней ветвью нитей основы (поз. 4);  $h_1$  – высота нижней части зева (за вычетом толщины ткани);  $h_2$  – высота верхней части зева (за вычетом толщины ткани);  $b$  – толщина ткани;  $b_1$  – расстояние, на которое перемещается бердо при прокладывании вертикального утка (высота подъема берда);  $x$  – расстояние от опушки ткани, на котором прокладывается кромочная нить;  $\alpha$  – угол нижней ветви основы к горизонтали;  $d$  – ширина полости в зубе берда (поз.8 на рис. 3);  $f$  – вспомогательный параметр;  $\alpha$  – угол наклона нижней нити основы к горизонтали.

Длина участка АВ и расстояние  $x$  будут определять размер зева – свободного пространства для прокладывания кромочной нити, которая фиксирует вертикальные уточные нити. Очевидно, что подъем берда ( $b_1$ ) будет определяться размерами зева и расстоянием  $a$ .

Можно записать следующее соотношение:

$$L_{AB} = L_{AD} - L_{DC} - L_{BC}. \quad (1)$$

При этом  $L_{AD} = a$ .

Длина отрезка DC будет определяться конфигурацией нижней части зева, толщиной ткани и высотой подъема берда:

$$L_{DC} = a + d + h_1 + b - b_1. \quad (2)$$

Высота подъема берда будет зависеть от параметров  $a$ ,  $d$ ,  $h$  и  $f$ :

$$b_1 = a + d + h + f. \quad (3)$$

Тогда длина отрезка DC:

$$L_{DC} = h_1 + b - h - f. \quad (4)$$

Величина  $f$  будет определяться углом наклона нижней ветви нитей основы к горизонтали и величиной горизонтального перемещения берда:

$$f = (\ell_1 - e)\text{tg}(\alpha). \quad (5)$$

При этом:

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{h_1 - h}{\ell_1 + x}. \quad (6)$$

Длина отрезка BC будет определяться углом наклона верхней ветви нитей основы:

$$L_{BC} = \frac{xh_2}{\ell_1 + x}. \quad (7)$$

Подставив (4)...(7) в (1), получим длину отрезка АВ:

$$L_{AB} = a - h_1 - b + h - \frac{xh_2}{\ell_1 + x} + (\ell_1 - e) \frac{h_1 - h}{\ell_1 + x}. \quad (8)$$

### *Результаты и обсуждение*

На основе формулы (8) проводится подбор необходимых технологических параметров, например величина перемещения берда по вертикали ( $b_1$ ) и горизонтали ( $\ell_1$ ), расположение полости для нитей вертикального утка ( $a$ ). Важно обеспечить минимально возможные значения параметров  $b_1$  и  $\ell_1$ , т.к. они будут влиять на производительность оборудования, но при этом обеспечить технологическую возможность прокладывания кромочной нити для вертикального утка. Допустим, что сечение прокладчика близко к кругу, тогда минимальный радиус этой окружности будет определяться радиусом окружности, вписанной в треугольник АВG (рис. 2). В этом случае необходимо определить длины сторон треугольника АВG и по известной формуле определить радиус вписанной в него окружности. Для определения длин сторон треугольника АВG необходимо найти координаты точки G. Они определяются путем расчета точки пересечения двух прямых – AF и BE. Допустим, начало координат расположено в точке D. При этом координаты точек для расчета следующие: A(0; a), B(0; a-L<sub>AB</sub>), E(x; L<sub>DC</sub>), F(x; L<sub>DC</sub> -b). Тогда уравнение прямой AF ( $y = f(m)$ ):

$$\frac{m}{x} = \frac{y-a}{h_1 - h - d - a}. \quad (9)$$

Уравнение прямой BE:

$$\frac{m}{x} = \frac{y-a+L_{AB}}{h_1 - h - f + b - a + L_{AB}}. \quad (10)$$

После преобразования (9) – (10) получим координаты точки G:

$$y = \frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b}, \quad (11)$$

$$m = \frac{(y-a)x}{\delta}, \quad (12)$$

$$\delta = h_1 - h - f - a. \quad (13)$$

Длину отрезка AG ( $L_{AG}$ ) и BG ( $L_{BG}$ ) определим через координаты точек ABG по известным из математики зависимостям:

$$L_{AG} = \sqrt{\left(\frac{(y-a)x}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b} - a\right)^2}. \quad (14)$$

$$L_{BG} = \sqrt{\left(\frac{(y-a)x}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b} - a + L_{AB}\right)^2}. \quad (15)$$

Тогда радиус вписанной в треугольник ABG окружности ( $r$ ) будет определен также по известной формуле. Зная полупериметр ( $p$ ) треугольника ABG:

$$r = \sqrt{\frac{(p-L_{AB})+(p-L_{BG})+(p-L_{AG})}{p}}. \quad (16)$$

Минимально возможное значение высоты зуба берда (1) определяется по формуле (17):

$$\ell = a + d + h_1 + h_2 + b. \quad (17)$$

Результаты расчета по предложенным формулам продемонстрируем на примере расчета зуба берда при выработке 3D-ортогональной ткани. Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. 1

Т а б л и ц а 1

Исходные данные		Результат расчета	
параметр, мм	значение	параметр, мм	значение
a	45,3	b <sub>1</sub>	95,6
ℓ <sub>1</sub>	215	ℓ	210,5
e	25	f	26,2
b	7	L <sub>AB</sub>	20,8
h	20,3	L <sub>AG</sub>	34,3
h <sub>1</sub>	53,5	L <sub>BG</sub>	20,3
h <sub>2</sub>	101	r	4,5
x	25		

На основе произведенных расчетов изготовлены зубья берда для опытной

установки, реализующей предложенную технологию получения 3D-ортогональных тканей из углеродных и арамидных нитей. На основе проведенных расчетов спроектирована конструктивно-заправочная линия и запрограммированы механизмы горизонтального и вертикального перемещения берда. В развитие этой работы для более точного моделирования в процессе формирования тканей необходимо учитывать жесткость нитей при изгибе и поперечном сжатии по методикам, изложенным в [19], [20].

## ВЫВОДЫ

1. Получены зависимости, позволяющие конструировать бердо и механизм прибора уточных нитей при выработке трехмерных ортогональных тканей.

2. Получены формулы, позволяющие провести оценку максимально возможного сечения прокладчика, прокладывающего кромку для фиксации вертикального утка при формировании 3D-ортогональных тканей с многоуточным прокладыванием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Донецкий К.И., Раскутин А.Е., Хилов П.А., Лукьяненко Ю.В., Белинис П.Г., Коротыгин А.А. Объемные текстильные преформы, используемые при изготовлении полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. – 2015, №9. С.75...83.
2. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3d orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. Vol. 1. P. 1...18.
3. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. – 2011. Vol. 110.P. 875...889.
4. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multiaxis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. – Vol 80(8)/2010: 696–711 DOI: 10.1177/0040517509340602.
5. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 2002; 23(7): 671...674.
6. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9) 965–987 (2010).

7. Bilisik K, Karaduman NS, Bilisik NE. 3D fabrics for technical textile applications. In: Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. – 2016. P. 81...141.

8. Xiwen Jia, Zihui Xia, Bohong Gu. Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // International Journal of Damage Mechanics. – 2015. Vol. 24. P. 338...362.

9. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – Vol. 7, Issue 2, 2012.

10. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

11. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985;

12. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [Us], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

13. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Potluri [Gb]; Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalinh [Gb] Sharma Sandeep – 2013-12-05.

14. Патент РФ № 2643659, 02.02.18. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Тихомиров Л.А., Зайцев Д.В., Старинец И.В., Селиверстов В.Ю. Способ формирования трехмерной ортогональной ткани.

15. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Определение рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерного ортогонального тканого волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5. С. 111...115.

16. Ушаков С.Н., Гречухин А.П., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Влияние величины смещения слоя горизонтального утка на плотность расположения вертикальных слоев нитей при формировании трехмерных ортогональных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.96...100.

17. Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н. Методика построения трехмерной модели ткани из углеродных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С. 140...144.

18. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. – 2017. T. 108. №12. P. 2067...2072.

19. Гречухин А.П., Рудовский П.Н. Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. – Кострома: Костромской государственный университет, 2017. ISBN: 978-5-8285-0917-1

20. Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A. Carbon fabric 3d modeling according to nonlinear bending theory // The Journal of the Textile Institute. – 2020. V. 111. № 10. P. 1511...1517.

## REFERENCES

1. K. I. Donetskii, A. E. Raskutin, P. A. Khilov, Yu. V. Lukyanenko, P. G. Belinis, and A. A. Korotygin. Volumetric textile preforms used in the manufacture of polymer composite materials (review) // Proceedings of VIAM, no. 9, 2015, pp. 75-83.

2. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3d orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. Vol. 1. P. 1...18.

3. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. – 2011. Vol. 110.P. 875...889.

4. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multiaxial Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. – Vol 80(8)/ 2010: 696–711 DOI: 10.1177/ 0040517509340602.

5. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 2002; 23(7): 671–674.

6. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9) 965–987 (2010).

7. Bilisik K, Karaduman NS, Bilisik NE. 3D fabrics for technical textile applications. In: Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. - 2016.-P. 81-141.

8. Xiwen Jia, Zihui Xia, Bohong Gu. Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // International Journal of Damage Mechanics. – 2015. Vol. 24. P. 338...362.

9. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – Volume 7, Issue 2 – 2012.

10. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

11. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985;

12. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [Us], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

13. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Potluri [Gb];

Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalsinh [Gb] Sharma Sandeep - 2013-12-05.

14. RF patent No. 2643659, 02.02.18. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Tikhomirov L.A., Zaitsev D.V., Starinets I.V., Seliverstov V.Yu. Method for forming a three-dimensional orthogonal fabric.

15. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Rudovsky P.N., Palochkin S.V. Determination of rational parameters of the threading system during the formation of a three-dimensional orthogonal woven fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2018, No. 5. P. 111 ... 115.

16. Ushakov S.N., Grechukhin A.P., Rudovsky P.N., Palochkin S.V. Influence of the offset value of the horizontal weft layer on the density of vertical layers of threads in the formation of three-dimensional orthogonal fabrics Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2018, No. 6. P. 96 ... 100.

17. Grechukhin A.P., Zaitsev D.V., Ushakov S.N., Rudovsky P.N. A technique for constructing a three-

dimensional model of fabric from carbon threads // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2017, No. 3. S. 140 ... 144.

18. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. - 2017. V. 108. No. 12. S. 2067 ... 2072.

19. Grechukhin A.P., Rudovsky P.N. Development of the theory of the structure and formation of single-layer tissues. – Kostroma: Kostroma State University. 2017. ISBN: 978-5-8285-0917-1

20. Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A. Carbon fabric 3d modeling according to nonlinear bending theory. The Journal of the Textile Institute. 2020. V. 111. No. 10. P. 1511-1517.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования ткани и трикотажа. Поступила 02.11.22.

УДК 687.03:677.11+677.027.625.11  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_98

**ПОДБОР ЦЕЛЛЮЛАЗ ДЛЯ УМЯГЧАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ  
ЛЬНЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОПИТКОЙ РАСТВОРАМИ БИОПРЕПАРАТОВ\***

**SELECTION OF CELLULASES FOR IMPREGNATION  
OF LINEN TEXTILE TO PERFORM THE SOFTENING TREATMENT**

*С.В. АЛЕЕВА<sup>1</sup>, О.В. ЛЕПИЛОВА<sup>1</sup>, С.А. КОКШАРОВ<sup>1</sup>,  
Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА<sup>2,3</sup>, Н.Л. КОРНИЛОВА<sup>2</sup>, Е.Н. НИКИФОРОВА<sup>2</sup>*

*S.V. ALEEVA, O.V. LEPILOVA, S.A. KOKSHAROV,  
T.S. SOLODUSHENKOVA, N.L. KORNILOVA, E.N. NIKIFOROVA*

<sup>1</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,  
<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет,  
<sup>3</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,  
Ivanovo State Polytechnical University,  
Ufa State Petroleum Technical University)

E-mail: sva@isc-ras.ru

*Статья продолжает комплекс исследований, направленных на совершенствование методов финишной отделки для уменьшения жесткости льняных изделий. Моделируются условия обработки отбеленной ткани с воздействием целлюлазных препаратов на волокно в ненабухшем состоянии. Свойства целлюлазных препаратов оценены по уровню эндоглюканазной активности в растворе, размеру молекул и степени адсорбционного связывания твердофазным субстратом с использованием методов электронной и фотонной корреляционной спектроскопии. Методы низкотемпературной газовой адсорбции и сканирующей электронной микроскопии применены для анализа состояния льняного волокна. Стандартные методы текстильного материаловедения были использованы для измерения жесткости ткани при изгибе, прочности при одноосном растяжении и изменения линейных размеров. Обработка экспериментальных данных проведена с использованием методов поверхности отклика и многофакторного корреляционного анализа. Градация размерного параметра целлюлаз проведена на*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда содействия инновациям № 3480ГС1/57516 «Разработка лабораторной технологии градиентного смягчения 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» с применением приборной базы ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

основании данных о доминирующем диаметре мезопор в структуре ненабухшего волокна. В отбеленной ткани его величина составляет 20 нм. Обоснована определяющая роль адсорбционной способности целлюлаз в эффективности умягчающего воздействия. Показано, что результат достигается за счет образования на поверхности волокна множества наноразмерных полостей, нарушающих целостность сетки микрофибрилл целлюлозы в первичной клеточной стенке. Получены зависимости для проектирования технологических свойств тканого полотна при варьировании адсорбционных и размерных характеристик целлюлазных препаратов. Определены оптимальные сочетания свойств ферментов для регулируемого понижения жесткости льняного материала в 1,1...4,5 раза при сопутствующей усадке не более 2% и потерях прочности не более 5%.

*This article continues the complex of studies aimed at improving the methods of finishing reducing the rigidity of linen textile. The conditions of bleached fabrics treatment including the effect of cellulase preparations to non-swollen fibres were modeled. The properties of cellulases were evaluated by the level of endoglucanase activity in solution, the molecule sizes and the adsorption binding degree by a solid-phase substrate using electron and photon correlation spectroscopy methods. Methods of low-temperature gas adsorption and scanning electron microscopy was used to analyze of the flax fiber state. Standard methods of textile materials engineering were used to measure the stiffness of the fabric during bending, strength under uniaxial tension and changes in linear dimensions. The experimental data were processed using the methods of the response surface and multivariate correlation analysis. The gradation of the size parameter of cellulases was carried out according to data on the dominant diameter of mesopores in the structure of the non-swollen fiber. Its value was 20 nm in bleached fabric. The main role of the adsorption capacity of cellulases to effectivity of softening effect was substantiated. It was shown that the result was achieved due to the formation of many nanoscale cavities on the fiber surface that violate the integrity of the mesh of cellulose microfibrils in the primary cell wall. Dependences for the design of technological properties of woven fabric are obtained with varying adsorption and dimensional characteristics of cellulases. Optimal combinations of enzyme properties were determined to controlling the decrease in the stiffness of linen material by 1,1...4,5 times with concomitant shrinkage of not more than 2% and strength losses of not more than 5%.*

**Ключевые слова:** структура волокон льна, биомодификация, целлюлазные препараты, размер и адсорбционная способность ферментов, деформационные свойства ткани.

**Keywords:** flax fiber structure, biomodification, cellulases, size and adsorption capacity of enzymes, deformation properties of fabric.

Целлюлазные препараты занимают третье место на мировом рынке промышленных ферментов [1], [2]. Текстильная индустрия входит в число важных отраслей потребления целлюлаз наряду с такими традиционными сферами, как пищевая, целлюлозно-бумажная промышленность, производство моющих средств и кормов, сель-

ское хозяйство, а также с развивающимся их использованием в фармацевтике и производстве биоэтанола [3], [4]. Ассортимент целлюлазных препаратов достаточно широк, и, как показывает практика [5...7], требуемые свойства ферментов специфичны не только в разных производственных направлениях, но и для решения спектра

различающихся задач, как, например, в цикле технологических операций переработки волокнистых материалов.

Актуален поиск оптимальных режимов ферментативной умягчающей отделки льняной продукции для устранения известных недостатков, связанных с усадкой и снижением прочности материала. Ранее установлено [8], что при периодических способах обработки отбеленной льняной ткани в растворе целлюлаз эффективное смягчение обеспечивается не только при воздействии ферментов в объеме набухшего волокна, но и за счет регулируемой модификации его первичной клеточной стенки. В последнем случае трехкратное снижение жесткости может быть достигнуто при минимизации усадки (менее 5%) и потерь прочности (не более 10%).

Ключевым фактором в реализации локализованного действия целлюлаз является не размер глобул, ограничивающий их диффузию в поры набухшего волокна, а способность к необратимому связыванию на твердофазном субстрате. Прочность адсорбционных взаимодействий зависит от наличия или отсутствия в молекуле фермента целлюлозосвязывающего домена, а также его строения [9].

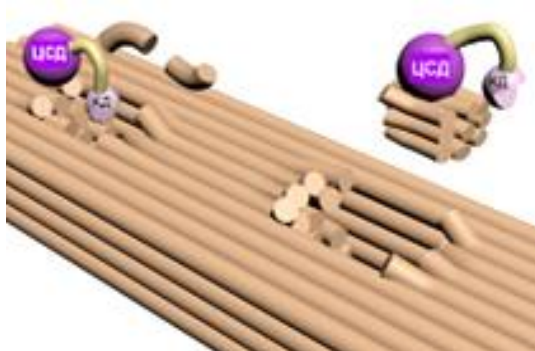


Рис. 1

Молекула адсорбирующихся энзимов состоит из двух структурных единиц: каталитического домена (КД) и целлюлозосвязывающего домена (ЦСД), которые соединены между собой гибкой полипептидной цепью – линкером. В структуре ЦСД имеются функциональные группировки, взаимодействующие с гидроксилами целлю-

лозы, что обеспечивает устойчивое закрепление фермента на поверхности субстрата. Механизм каталитической деструкции полимеров прочно адсорбирующимися ферментами показан на рис. 1.

Реакционный центр в составе КД осуществляет серию каталитических актов на участке, ограничиваемом длиной линкера, без разрыва связи ЦСД с субстратом. Такой механизм биокатализа получил название "множественной атаки" [10]. При этом одна молекула фермента, адсорбировавшись в аморфной области микрофибриллярного пучка целлюлозы, может обеспечить полное его поперечное повреждение. Разрывы в сетке микрофибрилл целлюлозы первичной клеточной стенки волокна способствуют понижению его жесткости.

Выявленная достаточность периферийного воздействия целлюлаз для достижения эффектов смягчения [8] открывает возможность перехода от периодических методов обработки льняных материалов с выдержкой в растворе биопрепарата к применению более производительных непрерывных и полунепрерывных технологических процессов, которые не предполагают набухания волокна и диффузии энзимов в его структуру. Это могут быть плюсовочнокатные способы обработки ткани в текстильном производстве или обработка деталей швейного изделия с нанесением малых объемов раствора ферментов методами шаблонной печати, шпредингования или аэрозольного распыления.

Цель работы состоит в выявлении закономерностей изменения технологических свойств тканого полотна при варьировании адсорбционных и размерных характеристик целлюлазных препаратов для варианта нанесения раствора с помощью валкового пропиточного устройства.

#### *Материалы и методы*

Для сопоставимости с результатами [8] применяли те же объекты исследования.

Отбеленная льняная ткань арт. 590 (Вологодский текстиль) имеет исходные значения анализируемых свойств (основа / уток): жесткость  $E_{исх} = 83,5 / 79,4$  мН·см<sup>2</sup>; разрывная нагрузка  $P_{исх} = 870 / 790$  сН; усадка при



пропитке буферным раствором без фермента  $Y_{исх} = 0,2 / 0,1 \%$ .

Целлюлазным препаратам: ЦеллоЛюкс А и ЦеллоЛюкс F (Сиббиофарм, РФ); Ультрафло Коре (Русфермент, РФ); Энзитекс и Фекорд 2012С (Фермент, Беларусь); Cellusoft Ultra и Stonezyme P (Novozymes, Дания); Conzyme TM90 (Sunson group, Китай); Целлюзим ультра (Энзим, Украина); KAC® 500 (Genencor, США); Rucolase ZLL (Rudolf Chemie, Германия) – случайным отбором присвоены номера от Ф1 до Ф11.

Активность эндоглюканазы (СА) в реакции гидролиза фильтровальной бумаги [11] и адсорбцию целлюлаз на микрокристаллической целлюлозе [12] определяли с применением метода электронной спектроскопии на спектрофотометре UNICO 2800. Степень адсорбционного связывания белка (**a**, отн. ед.) выражали в долевого отношении к содержанию в исходном растворе.

Размер ферментов в гидрозоле определяли методом фотонной корреляционной спектроскопии на анализаторе Zetasizer Nano ZS. С учетом рекомендаций [13] по распределению относительного числа частиц рассчитано долевого содержание фракций с размером менее 20 нм (**b**, отн. ед.).

Ткань модифицировали, моделируя плюсовочно-накатный способ обработки. Образцы пропитывали на двухвальной плюсовке с отжимом 100%, укладывали в пакеты и выдерживали в воздушном термостате при 40...45°C в течение 40 мин. Подбором концентрации препаратов обеспечивали постоянный уровень активности эндоглюканазы в растворе СА= 150 ед./мл. Оптимальный уровень pH для каждого препарата поддерживали с помощью натрий-ацетатных буферных смесей.

Состояние поверхности и поровой системы волокна исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (микроскоп Quattro S) и низкотемпературной адсорбции-десорбции паров азота (газовый анализатор Nova Series 1200e). Расчет распределения пор по размерам осуществлен компьютерной программой на основании анализа ниспадающей ветви адсорбционно-десорбционной кривой методом ВЖН (Barrett-Joyner-Halenda).

Для анализа технологических свойств ткани использовали стандартные методы текстильного материаловедения: жесткость при изгибе (EI) – консольный метод, прибор ПТ-2 (ГОСТ 10550-93); разрывная нагрузка (P) – метод одноосного растяжения, разрывная машина РМ-30 (ГОСТ 3813-72); технологическая усадка (Y) – определение линейных размеров текстильных изделий (ГОСТ 3811-72).

Оценка результатов совместного влияния свойств биопрепаратов на характеристики ткани проведена в рамках методологии поверхности отклика и многофакторного корреляционного анализа с использованием программ Origin Pro v 9.5.1.195, Statgraphics PLUS 2000 Professional.

#### Результаты и обсуждение

Требования к регламентации размерного параметра биокатализаторов для исследуемых условий модификации льняной ткани установлены на основании анализа параметров поровой системы волокна в ненабухшем состоянии. По данным адсорбции паров азота определено, что удаление примесей при подготовке ткани обеспечивает увеличение внутреннего свободного объема  $V_{п}$  с 0,009 до 0,017 см<sup>3</sup>/г. На рис. 2 показано дифференциальное распределение внутреннего свободного объема по диаметру пор ( $dV_{п}/dD$ ) в образцах волокна, выделенного из суровой (1) и отбеленной (2) льняной ткани.

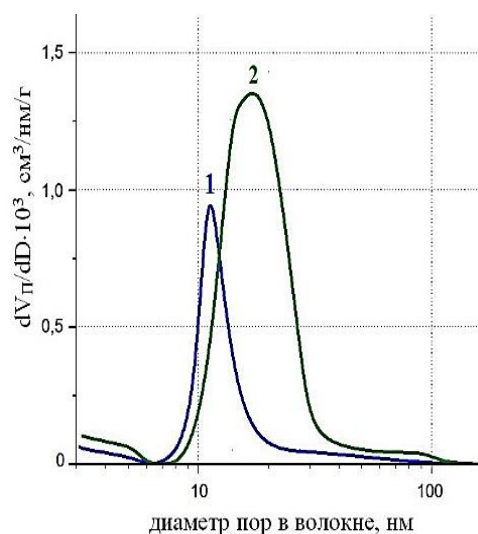


Рис. 2

Основной вклад в величину  $V_{II}$  вносят мезопоровые пространства. Диаметр доминирующих фракций мезопор в отбеленном волокне возрастает до 20 нм. Это значение принято для измененной градации размер-

ного параметра  $b$  применяемых целлюлазных препаратов. Характеристика свойств биопрепаратов, являющихся регулирующими параметрами модифицирующей обработки, приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Биопрепарат	Адсорбционное связывание, $a$ , отн. ед.	Содержание фракций с размером менее 20 нм, $b$ , отн. ед.	Группа адсорбция – размер
Ф1	0,46	0,91	3а – 2б
Ф2	0,37	0,04	3а – 3б
Ф3	0,32	0,89	3а – 2б
Ф4	0,47	0,09	3а – 3б
Ф5	0,65	0	2а – 1б
Ф6	0,52	0,70	2а – 2б
Ф7	0,55	0,01	2а – 1б
Ф8	0,10	0	1а – 1б
Ф9	0,52	0,25	2а – 3б
Ф10	0,34	0,03	3а – 3б
Ф11	0,15	0,01	1а – 1б

По адсорбционной способности градация не изменена: гр. 1а – слабо адсорбирующиеся целлюлазы  $a \leq 0,15$ ; гр. 2а – прочно адсорбирующиеся  $a > 0,5$ ; гр. 3а – средне адсорбирующиеся  $0,15 < a < 0,5$ .

По относительной доле фракций, соразмерных с диаметром пор ненабухшего волокна (менее 20 нм), подразделение целлюлаз следующее: гр. 1б – периферийного действия  $b = 0 \dots 0,01$  (отсутствие малоразмерных фракций в пределах точности определения показателя  $b$ ); гр. 2б – объемного действия  $b > 0,5$ ; гр. 3б – смешанного проявления активности  $0,01 < b \leq 0,5$ .

На рис. 3 показано построение поверхности отклика по данным изменения величины жесткости по нитям основы (а) и проекции линий равного отклика на плоскость независимых переменных  $a$  и  $b$  (б).

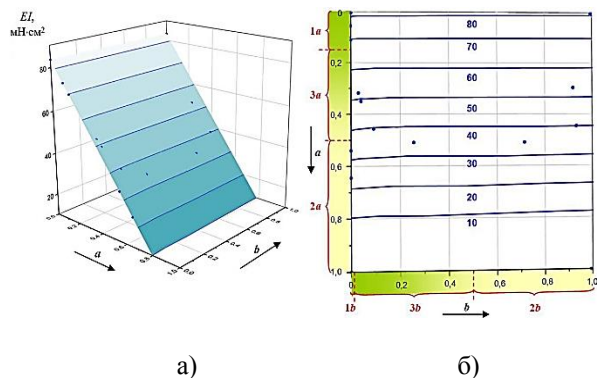


Рис. 3

Максимальное снижение показателя EI достигает 3,5 раза по основе и 3,9 раза по утку (23,7 и 20,5 мН·см<sup>2</sup> соответственно). Результат получен при использовании препарата Ф5, отнесенного к группе прочно адсорбирующихся целлюлаз периферийного действия (гр. 2а–1б) и имеющего наибольшее значение параметра  $a$ . Применение малоразмерных целлюлаз, способных к проникновению вглубь волокна, проявляется лишь при наличии выраженной адсорбционной способности и может обеспечить усиление эффекта мягчения не более чем на 10%.

Вклад индивидуального и совместного влияния адсорбционного и размерного факторов целлюлаз на величину жесткости ткани в направлении нитей основы (1) и нитей утка (2) может быть оценен с помощью следующих зависимостей:

$$EI_{\text{осн}} = 83,49 - 92,3a - 0,154b - 2,03ab; r = 0,9999, \quad (1)$$

$$EI_{\text{ут}} = 79,3 - 90,51a - 3,08b - 8,2ab; r = 0,9892. \quad (2)$$

Свободные члены уравнений (1) и (2) соответствуют значениям показателя для каждой группы нитей в исходной ткани. Это позволяет получить объединенное выражение для проектирования понижения жесткости ткани ( $\Delta EI$ ) при биомодифика-

ции методом пропитки с учетом уровня показателя для исходного материала:

$$\Delta EI = EI_{\text{исх}} - EI_{\text{био}} = 91,41a + 1,62b + 5,1ab; r = 0,9803. \quad (3)$$

На рис. 4 приведены проекции линий равного отклика для изменений по нитям основы показателей разрывной нагрузки (а) и технологической усадки (б).

Диаграммы имеют схожий вид с главным отличием в том, что показатель  $P$  прогрессирующе понижается, а величина  $Y$  прогрессирующе возрастает по мере одновременного приближения значений адсорбционного и размерного параметров биопрепарата к единице. То есть и в условиях непрерывных технологических процессов с нанесением ферментного препарата методом пропитки существует вероятность значимого проявления сопутствующих потерь прочности и усадки ткани.

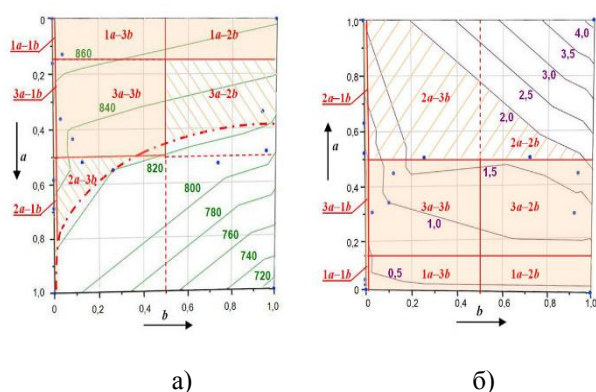


Рис. 4

Поверхности отклика для изменений разрывной нагрузки в продольном и поперечном направлении полотна описываются следующими уравнениями для нитей основы (4) и нитей утка (5):

$$P_{\text{осн}} = 870 - 65,96a - 2,41b - 85,76ab; r = 0,9493, \quad (4)$$

$$P_{\text{ут}} = 791 - 50,14a - 3,45b - 58,22ab; r = 0,9498. \quad (5)$$

Для проектирования возможных потерь разрывной нагрузки после биомодификации ( $\Delta P$ ) с учетом уровня показателя для исходной ткани и свойств целлюлазных

препаратов можно использовать объединенную зависимость:

$$\Delta P = P_{\text{исх}} - P_{\text{био}} = 58,05a + 2,93b + 71,99ab; r = 0,9888. \quad (6)$$

Соотношения, описывающие поверхность отклика изменений линейных размеров по основе (7) и утку (8) для варьируемых свойств биопрепаратов, имеют вид:

$$Y_{\text{осн}} = 0,21 + 1,27a + 0,002b + 2,55ab; r = 0,9267. \quad (7)$$

$$Y_{\text{ут}} = 0,07 + 2,81a + 0,38b + 1,13ab; r = 0,9286. \quad (8)$$

Прогнозирование ожидаемого изменения линейных размеров ткани после биомодификации ( $\Delta Y$ ) с учетом усадки исходной ткани в холостом эксперименте возможно по обобщенному уравнению:

$$\Delta Y = Y_{\text{исх}} - Y_{\text{био}} = 2,04a + 0,2b + 1,84ab; r = 0,9201. \quad (9)$$

Дополнительные построения на диаграммах рис. 4 позволяют графически провести отбор параметров целлюлазного препарата, обеспечивающих получение умягчающей отделки при допустимом уровне побочных нежелательных изменений свойств материала. Как следует из рис. 4-б, все используемые в эксперименте препараты (см. значения, нанесенные точками) удовлетворяют условиям ограничения допустимой усадки ткани величиной 2%. Этим условиям полностью удовлетворяют группы, выделенные на поле независимых переменных  $a$  и  $b$  дополнительной заливкой, а также заштрихованные части, отражающие приемлемые сочетания параметров  $a$  и  $b$  в группах 2a-3b и 2a-2b.

Более жесткие ограничения для свойств биопрепаратов должны быть установлены, исходя из значений прочностных показателей. Штрихпунктирная линия на рис. 4-а ограничивает область допустимого снижения разрывной нагрузки – не более 5%. В эту область попадают все варианты слабо адсорбирующихся целлюлаз (гр. 1a-1b, 1a-2b, 1a-3b), две группы средне адсорбирующихся ферментов (гр. 3a-1b, 3a-3b), группа

прочно адсорбирующихся препаратов с крупными размерами молекул (2а-1b), а также заштрихованная часть, охватывающая 80% группы 3а-2b и 15% группы 2а-3b.

Использование препаратов, входящих в перечисленные группы, обеспечит регулируемое снижение жесткости ткани в 1,1...4,5 раза в зависимости от требуемого уровня показателя для получения проектируемой объемно-пластической формы швейного изделия. Минимальный уровень усадки позволяет осуществлять умягчающую обработку деталей швейного изделия после операции кроя, обеспечивая при этом соответствие получаемых изделий проектируемым размерным параметрам одежды.

Из совокупности исследуемых биопрепаратов наилучшее сочетание технологических свойств ткани получено при пропитке раствором препарата Ф9, относящегося к группе прочно адсорбирующихся целлюлаз со смешанным проявлением активности (гр. 2а-3b). Характер действия ферментов подтвержден результатами микроскопических исследований состояния поверхности волокна. На рис. 5 приведено СЭМ-изображение волокна отбеленной льняной ткани после обработки препаратом Ф9.

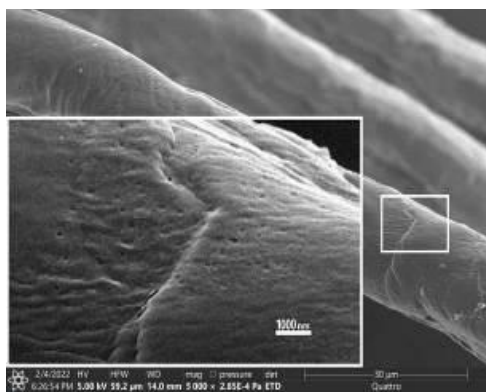


Рис. 5

Выделенный фрагмент изображения увеличен дополнительно. Это позволяет зафиксировать появление на поверхности волокна микрокаверн с размерами, превышающими 100 нм, а также большое количество более мелких полостей.

Наблюдаемые изменения полностью согласуются с принципом действия прочно адсорбирующихся целлюлаз, изображенным на

рис. 1. В результате необратимого связывания с субстратом ресорбция молекулы фермента в раствор (рис. 1) происходит только вместе с прикрепленным к ЦСД остатком целло-олигосахарида, образовавшимся в результате серии каталитических актов по механизму "множественной атаки". Совокупность локализованных воздействий молекул ферментного препарата нарушает целостность целлюлозного корсета в РW-слое первичной клеточной стенки льняного волокна. Благодаря этому достигается целевой эффект умягчающей отделки льняной ткани.

## ВЫВОДЫ

Показана возможность проведения качественной умягчающей отделки льняной ткани по технологии, включающей пропитку раствором целлюлазного препарата. Обосновано проведение градации размерного параметра ферментов на основании данных о величине доминирующего размера мезопор в ненабухшем льняном волокне 20 нм. Выявлено определяющее влияние адсорбционной способности ферментов на эффективность снижения жесткости ткани. Сопутствующие проявления усадки и снижения механической прочности ткани достигают критического уровня при одновременном нарастании значений адсорбционного и размерного параметров в диапазоне от 0,5 до 1. Получены математические модели для проектирования качественных показателей умягченных льняных материалов с учетом свойств исходной ткани и характеристик используемых ферментов. Выявлены предпочтительные характеристики биопрепаратов, обеспечивающих регулируемое понижение показателя жесткости в 1,1...4,5 раза с сопутствующими потерями прочности менее 5 % и усадкой менее 2%. Результаты позволяют реализовать технологию градиентного мягчения деталей швейного изделия с необходимым уровнем жесткости для получения проектируемой объемно-силуэтной формы и обеспечения заданных размерных параметров одежды из льняных тканей.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Bhardwaj N., Kumar B., Agrawal K. et al. Current perspective on production and applications of microbial cellulases: a review // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2021, 8, 1. P. 1...34.

2. Transparency Market Research (2021) Cellulase market - global industry analysis, size, share, growth, trends, and forecast 2018–2026. Rep Id: TMRGL60753 /<https://www.transparencymarketresearch.com/cellulase-market.html> (Дата обращения 10.08.2022)

3. Sharma R., Nehra S., Kumar D. Microbial cellulases: An approach toward recent advances in research, their application, and future perspectives / In: *Current Status and Future Scope of Microbial Cellulases*, 2021, Chapter 14. P. 295...311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821882-2.00014-4>

4. Kumar B., Verma P. Enzyme mediated multi-product process: a concept of bio-based refinery // *Industrial Crops and Products*. – 2020, 154, 112607.

5. Besegatto S., Costa F.N., Damas M.S.P. et al. Enzyme treatment at different stages of textile processing: a review // *Industrial Biotechnology*. – 2018, 14, 6. P.298...307.

6. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // *Autex Research Journal*. – 2015, 15, 3. P. 215...225.

7. Алеева С.В., Кокишаров С.А. Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // *Российский химический журнал*. – 2011, 55, 3. P. 46...58.

8. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокишаров С.А. и др. Ферментативная умягчающая обработка льняных изделий: Воздействие целлюлаз в структуре набухшего волокна // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2022, № 5. С.126...134.

9. Linder M., Teeri T.T. The roles and function of cellulose-binding domains // *Journal of Biotechnology*. – 1997, 57, 1–3. P. 15...28.

10. Rabinovich M.L., Melnick M.S., Bolobova A.V. The structure and mechanism of action of cellulolytic enzymes // *Biochemistry*. – 2002, 67, 8. P. 850...871.

11. Ghose T.K. Measurement of cellulase activities // *Pure and Applied Chemistry*. – 1987, 59. P. 257...268.

12. Короткова О.Г., Семенова М.В., Рубцова Е.А. и др. Сравнительный анализ рекомбинантной эндо-1,4-глюказазы II и ее химерных форм с целлюлозосвязывающим модулем // *Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия*. – 2019, 60, 5. С. 296...303.

13. Кокишаров С.А., Алеева С.В., Корнилова Н.Л. и др. Модифицирование межфазного слоя армированных полимерных композитов нанодисперсным диоксидом кремния // *Перспективные материалы*. – 2021, № 4. С. 37...55.

crobial cellulases: a review // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2021, 8, 1. P. 1...34.

2. Transparency Market Research (2021) Cellulase market - global industry analysis, size, share, growth, trends, and forecast 2018–2026. Rep Id: TMRGL60753 /<https://www.transparencymarketresearch.com/cellulase-market.html> (date of the application 10.08.2022).

3. Sharma R., Nehra S., Kumar D. Microbial cellulases: An approach toward recent advances in research, their application, and future perspectives / In: *Current Status and Future Scope of Microbial Cellulases*, 2021, Chapter 14. P. 295...311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821882-2.00014-4>

4. Kumar B., Verma P. Enzyme mediated multi-product process: a concept of bio-based refinery // *Industrial Crops and Products*. – 2020, 154, 112607.

5. Besegatto S., Costa F.N., Damas M.S.P. et al. Enzyme treatment at different stages of textile processing: a review // *Industrial Biotechnology*. – 2018, 14, 6. P.298...307.

6. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // *Autex Research Journal*. – 2015, 15, 3. P. 215...225.

7. Aleeva S., Koksharov S. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2012, 82, 13. P. 2279...2293.

8. Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. et al. Enzymative softening treatment of linen products: The impact of cellulases in the structure of a sweet fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2022, 401, 5. P. 128...135.

9. Linder M., Teeri T.T. The roles and function of cellulose-binding domains // *Journal of Biotechnology*. – 1997, 57, 1–3. P. 15...28.

10. Rabinovich M.L., Melnick M.S., Bolobova A.V. The structure and mechanism of action of cellulolytic enzymes // *Biochemistry*. – 2002, 67, 8. P.850...871.

11. Ghose T.K. Measurement of cellulase activities // *Pure and Applied Chemistry*. – 1987, 59. P. 257...268.

12. Korotkova O.G., Semenova M.V., Rubtsova E.A., et al. Comparative analysis of the properties of recombinant endo-1,4-β-glucanase II and its chimeric form with a cellular binding module // *Moscow University Chemistry Bulletin*. – 2019, 74, 5. P.223...228.

13. Koksharov S.A., Aleeva S.V., Kornilova N.L. et al. Modification of the interfacial layer of reinforced polymer composites with nanodispersed silicon dioxide // *Inorganic Materials: Applied Research*. – 2021, 11, 5. P. 1243...1256.

Рекомендована лабораторией "Химия и технология модифицированных волокнистых материалов" ИХР РАН. Поступила 23.08.22.

## REFERENCES

1. Bhardwaj N., Kumar B., Agrawal K. et al. Current perspective on production and applications of mi-

**КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
БИКОМПОНЕНТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ**

**QUALITATIVE ASSESSMENT OF COTTON TEXTILE MATERIALS  
MODIFIED WITH BICOMPONENT METALLIC NANOPARTICLES**

*Е.В. КУДРЯВЦЕВА, А.А. БУРИНСКАЯ*

*E.V. KUDRIAVTSEVA, A.A. BURINSKAYA*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University of Technology and Design)

E-mail: ekaterina.kudr@bk.ru

*В статье рассмотрены способы получения модифицированных биметаллическими наночастицами медь-серебро тканей и трикотажа из хлопчатобумажных волокон. Такая модификация позволяет придать антимикробные и противогрибковые свойства, а также устойчивость к микробиологическому разрушению. Кроме того, наблюдается колористический эффект: цвета от золотисто желтого до насыщенного коричневого. Полученная окраска характеризовалась спектрами отражения, зафиксированными с помощью спектрофотометра фирмы SHIMADZU UV-2401PC. Изменения поверхности модифицированных субстратов определялись с использованием эмиссионного сканирующего электронного микроскопа HITACHI S-4700. Механизм взаимодействия наночастиц с волокнистым материалом характеризовался методами ИК-Фурье спектроскопии и КР-спектроскопии и рентгеновского рассеяния, зафиксированного с помощью рентгеновского дифрактометра PANalytical X'Pert PRO Extended. Тесты на антибактериальное действие модифицированных образцов показали снижение колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов *S. aureus* и *E.coli* в 1 мл питательного бульона на 4...5 порядков по сравнению с контрольным образцом ( $10^8$  КОЕ/мл) за 24 часа. Подтверждено противогрибковое действие модифицированных образцов против *Penicillium chrysogenum*. Установлена устойчивость к микробиологическому разрушению по ГОСТ 9.060–75. Полученные антибактериальные материалы были подвергнуты многократным стиркам в соответствии с ГОСТ Р ИСО 105-C06-2011 для определения прочности фиксации наночастиц в субстратах. Модифицированные бикомпонентными наночастицами материалы не являются токсичными, что подтверждено тестами по чувствительности дрожжевой культуры *S. cerevisiae*.*

*The article discusses methods for obtaining cotton fabrics and knitwear modified with bimetallic copper-silver nanoparticles. This modification makes it possible to impart antimicrobial and antifungal properties, as well as resistance to microbiological degradation. In addition, there is a colour effect: colours vary from golden yellow to deep brown. The resulting colour was characterized by reflection spectra recorded using a SHIMADZU UV-2401PC spectrophotometer. Changes in the surface of the modified substrates were determined using an emission scanning electron microscope HI-TACH S-4700. The mechanism of interaction of nanoparticles with fibrous material was characterized by the methods of IR-Fourier spectroscopy and*

*Raman spectroscopy and X-ray scattering recorded using the X-ray diffractometer PANalytical X'Pert PRO Extended. Tests for the antibacterial activity of modified samples showed a decrease in colony-forming units (CFU) of *S. aureus* and *E. coli* microorganisms in 1 ml of nutrient broth by 4–5 orders of magnitude compared with the control sample ( $10^8$  CFU/ml) in 24 hours. The antifungal activity of modified samples against *Penicillium chrysogenum* was confirmed. Resistance to microbiological destruction was established according to GOST 9.060-75. The resulting antibacterial materials were subjected to repeated washing in accordance with GOST R ISO 105-C06-2011 to determine the strength of fixation of nanoparticles in substrates. Materials modified with bicomponent nanoparticles are not toxic, which was confirmed by tests on the sensitivity of the yeast culture *S. cerevisiae*.*

**Ключевые слова:** биметаллические наночастицы, медь, серебро, модифицированные волокнистые материалы, хлопчатобумажная ткань, антимикробные, противогрибковые свойства, бактерицидное действие.

**Keywords:** bimetallic nanoparticles, copper, silver, modified fibres, cotton fabric, antimicrobial, antifungal, bactericidal properties.

Серебро – природный элемент, используемый уже многие тысячелетия для изготовления монет и украшений, предметов интерьера и посуды, для очистки воды и для лечения различных заболеваний.

Александр Македонский (335 г. до н.э.) хранил воду в серебряных сосудах во время военных кампаний. Древние греки и римляне также применяли серебро для этих целей, чтобы сохранять воду свежей. В древних средиземноморских и восточных культурах серебряные колбы и контейнеры использовались для хранения различных жидкостей, чтобы предотвратить их порчу, а серебряная фольга применялась для предотвращения развития инфекций в открытых ранах.

Ионизированное серебро ( $Ag^+$ ) известно своими антибактериальными свойствами и применяется в лечении ожоговых поражений кожи уже более 200 лет.

Действие наночастиц серебра на бактерии объясняется способностью высвободить ионы  $Ag^+$ , которые проникают через мембрану бактерии, взаимодействуют с ее ДНК, белками цитоплазмы и клеточной мембраны, повреждают дыхательную цепь переноса электронов (электрон-транспортную цепь), тем самым препятствуя росту и размножению бактерии и уничтожая ее [1...6]. Активные формы кислорода (АФК), такие как супероксид ( $\cdot O^{2-}$ ) и гидроксиль-

ный радикал ( $\cdot OH$ ), могут образовываться в результате реакции ионов  $Ag^+$  с молекулярным кислородом во внешней и внутренней среде бактерий [6].

Важной особенностью микроорганизмов является образование биопленок, более стабильных и менее чувствительных к воздействию антибактериальных агентов, по сравнению с единичными бактериальными клетками. В составе таких биопленок могут присутствовать резистентные к наночастицам серебра штаммы [7], [8], например, микобактерии *Agr-1* [9]. Таким образом, проникновение высвобожденных ионов  $Ag^+$  внутрь такой биопленки будет затруднено [10]. Однако биметаллические наночастицы медь-серебро способны проникать в мембрану резистентных к серебру штаммов микроорганизмов и тем самым уничтожить бактерию изнутри [9].

Способы получения металлических наночастиц разнообразны: для их реализации необходимо применение дорогостоящего энергозатратного оборудования (физические методы) или вспомогательных веществ и компонентов, необходимых для обеспечения стабильности получаемых наносистем (химические методы). Многие вещества, используемые для получения металлических наночастиц, являются опасными химикатами, загрязняют окружающую среду, они осаждаются на оболочке

синтезированных наночастиц и могут являться причиной аллергических реакций при контакте человека с наноматериалом.

Таким образом, поиск экологичных и простых для реализации в условиях промышленности способов синтеза металлических наночастиц имеет особую значимость в наше время.

По результатам проведенных исследований научно-технической документации и патентных баз РФ, США, Европы, Японии и Китая за последние десятилетия стоит отметить, что по теме синтеза бикомпонентных наночастиц металлов непосредственно на полимерном материале найдено ограниченное количество источников [9; 11–13].

В последние годы тема получения бикомпонентных металлических наночастиц начинает развиваться и является актуальной для научных исследований ввиду больших возможностей применения в различных сферах промышленности.

В данной работе представляется важным исследовать экологически чистый синтез бикомпонентных наночастиц медь-серебро на хлопчатобумажных текстильных материалах, изучить характер их взаимодействия с субстратом, размеры, морфологию, распределение наночастиц в субстрате и на его поверхности, антигрибковые и антибактериальные свойства модифицированного материала, а также устойчивость такой обработки в процессе эксплуатации.

#### Методы

Перед обработкой ткани и трикотажные полотна предварительно отмывали в мыльно-содовом растворе от технологических и естественных примесей.

Для получения биметаллических наночастиц медь-серебро (НЧ Cu-Ag) волокнистые материалы обрабатывали в водном растворе пятиводного сульфата меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0001–0,001 М, затем в водном растворе нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$  0,0001–0,002 М. Для интенсификации процесса синтеза вводили гидрат аммиака  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Затем субстрат тщательно промывали теплой водой и высушивали.

Определение спектральных и колористических характеристик модифицированных хлопчатобумажных материалов произ-

водилось на спектрофотометре фирмы Shimadzu UV-2401PC (Япония) при диапазоне длин волн от 190 нм до 800 нм.

Качественный анализ выполняли на инфракрасном Фурье спектрометре Shimadzu FTIR-8400S (Япония); исследования методом комбинационного рассеяния проводились на спектрометре DXR Raman Microscope фирмы Thermo Fisher Scientific (США), а также с помощью рентгеновского дифрактометра PANalitical X'Pert PRO Extended (Нидерланды).

Размер синтезированных наночастиц определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы JEOL JSM-6390 LA (Япония). Максимальное разрешение в режиме высокого вакуума составляет 3 нм.

Энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию и рентгеновское картирование состава модифицированных субстратов проводили с помощью полевого эмиссионного сканирующего электронного микроскопа (ПЭСЭМ) фирмы Hitachi S-4700 (Япония).

Устойчивость модифицированных образцов к многократным стиркам определяли в соответствии с ГОСТ Р ИСО 105-С06-2011.

Исследования бактерицидных свойств *in vitro* образцов текстильных материалов с нанесенными биметаллическими наночастицами проводили в НИИ Эпидемиологии и микробиологии им. Пастера согласно Руководству Р 4.2.2643-10 "Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности", а именно: методом погружения исследуемых образцов в бульон с тест-культурами. В бульонную культуру, содержащую бактерии *S. aureus* и *E. coli* в количестве  $1 \cdot 10^8$  КОЕ/мл (КОЕ – колониеобразующая единица), вносили образцы с площадью поверхности 2 см<sup>2</sup>. Контролем служили пробирки с бактериями без волокнистого субстрата. Штатив с пробирками помещали на платформу шейкера (250 об/мин) на 24 ч. Затем из каждой пробирки отбирали по 1 мл суспензии, разводили в 10, 100, 1000 и 10 000 раз; засеивали на чашки Петри с мясопептонным агаром. Ин-



кубировали посеы в термостате 24 ч при 37° С. На следующий день производили подсчет выросших колоний микроорганизмов, умножали на степень разведения, данные заносили в таблицу в виде КОЕ/мл.

Лабораторные испытания модифицированных материалов на стойкость к воздействию плесневых грибов проводились в соответствии с ГОСТ 9.048-89. Образец исследуемого волокнистого материала площадью 2 см<sup>2</sup> помещали в центр чашки Петри на предварительно подготовленную питательную среду Чапека-Докса с агаром. На образец распыляли суспензию спор грибов *Penicillium chrysogenum*. Затем чашку Петри помещали в инкубатор Avantgarde.Line с естественной конвекцией фирмы Binder (Германия), модель BD 56. Испытания проводились при температуре (29±2) °С и относительной влажности более 90% в течение 28 суток.

Испытания на устойчивость к микробиологическому разрушению проводились согласно ГОСТ 9.060-75. Сущность метода заключается в том, что ткани в определенных условиях подвергают воздействию естественного комплекса почвенной микрофлоры путем нанесения на поверхность ткани специальной смеси, а затем определяют устойчивость к микробиологическому разрушению по изменению разрывной нагрузки. Продолжительность испытаний составляла 10 суток. Разрывную нагрузку определяли на разрывной машине РТ-250М.

Определение токсичности нанесенных на волокнистые материалы наночастиц по угнетению роста дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Согласно литературным источникам дрожжи *S. cerevisiae* являются удобным биологическим материалом для определения токсичности различных загрязнителей, в том числе тяжелых металлов [14].

Готовили раствор Рингера (6,5 г хлорида натрия, 0,42 г хлорида калия и 0,25 г хлористого кальция в 1000 см<sup>3</sup> дистиллированной воды). Добавляли глюкозу в количестве 2 % и дрожжевую культуру *S. cerevisiae* – 0,5 %. В стеклянные пробирки помещали измельченный волокнистый ма-

териал массой 0,1 г и добавляли 10 см<sup>3</sup> приготовленного дрожжевого раствора. В качестве контроля использовали пробирку с дистиллированной водой.

Токсичность определяли оптическим методом – измеряли экстинкцию на фотокориметре при длине волны 650 нм.

Опытные и контрольные пробирки выдерживали в термостате при комнатной температуре в течение 48 ч. Рост дрожжей прекращали погружением пробирок в кипящую воду. По охлаждении производили измерение величины экстинкции опытных пробирок.

#### *Результаты и обсуждения*

Использовались следующие химические реактивы: серебро азотно-кислородное AgNO<sub>3</sub>; медь II серно-кислая 5-водная CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; гидрат аммиака NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O.

Текстильные материалы: хлопчатобумажная ткань артикула 152 (бязь), вид переплетения – полотняное, поверхностная плотность 130 г/м<sup>2</sup>; трикотажное полотно из хлопковых волокон артикула 867113, поверхностная плотность 145 г/м<sup>2</sup>.

Хлопчатобумажные волокна относятся к натуральным волокнам растительного происхождения и имеют в своем строении гидроксильные и карбоксильные группы, которые играют роль восстановителя при синтезе металлических наночастиц непосредственно в структуре волокнистого субстрата, что было ранее исследовано при синтезе наночастиц серебра [15].

Предполагается следующий механизм получения наночастиц медь-серебро на хлопчатобумажных волокнистых материалах: 1) на стадии пропитки в водном растворе CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O происходит диффузия и равномерное распределение ионов меди или железа в пористой структуре материала и взаимодействие с функциональными группами субстрата, 2) затем при погружении в раствор нитрата серебра AgNO<sub>3</sub> происходит диффузия ионов серебра к ионам меди и 3) восстановление до нульвалентной формы за счет разности окислительных потенциалов (E<sub>0</sub>) пар Ag<sup>+</sup>/Ag<sup>0</sup> и Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>0</sup>, а также за счет взаимодействия с функциональными группами субстрата (рис. 1) и об-

разование прочных химических связей в дополнение к физическим.

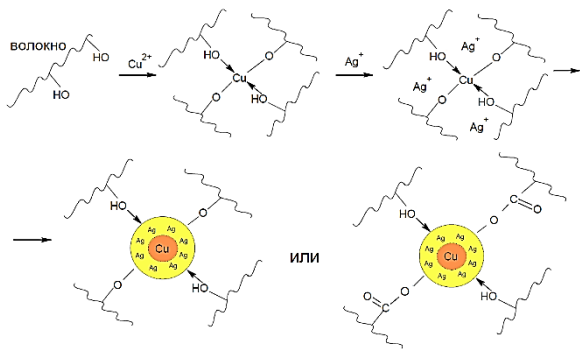


Рис. 1

Данный механизм закрепления наночастиц в субстрате позволяет сохранять антибактериальный эффект в течение всего срока эксплуатации текстильного изделия, благодаря устойчивости к процессам стирки.

Кроме того, при синтезе наночастиц в структуре материалов наблюдается колористический эффект: цвета от золотисто-желтого до темно-коричневого. Причем оттенок цвета контролируется изменением условий реакции и концентрации прекурсоров. Полученная окраска характеризовалась спектрами отражения, зафиксированными с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-2401PC.

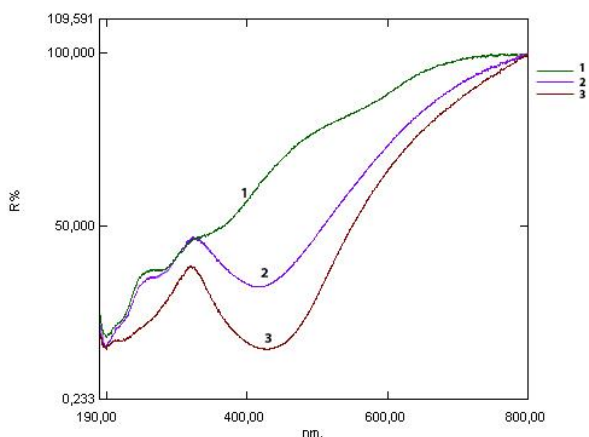


Рис. 2

На рис. 2 представлены спектры отражения образцов хлопчатобумажной ткани с нанесенными металлическими наночастицами. Кривая 1 – исходный необработанный образец хлопчатобумажной ткани.

Кривые 2 и 3 – образцы, модифицированные бикомпонентными наночастицами Cu-Ag при исходной концентрации солей  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0005 М,  $\text{AgNO}_3$  0,0005 М и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,001 М,  $\text{AgNO}_3$  0,002 М соответственно.

Как видно из рис. 2 (спектры отражения хлопчатобумажной ткани: 1 – необработанный образец; 2 – обработка  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0005 М,  $\text{AgNO}_3$  0,0005 М; 3 – обработка  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,001 М,  $\text{AgNO}_3$  0,002 М), минимумы отражения образцов, модифицированных НЧ Cu-Ag, находятся в диапазоне длин волн 410...430 нм. Наличие полосы плазмонного резонанса при 410–430 нм подтверждает, что оболочка полученных бикомпонентных наночастиц Cu-Ag состоит из серебра.

Для интенсификации процесса синтеза наночастиц вводили раствор гидрата аммиака. На рис. 3 представлены спектры отражения образцов хлопчатобумажной ткани, обработанных следующим образом: кривая 1 – исходный необработанный образец хлопчатобумажной ткани; кривые 2 и 3 – образцы хлопчатобумажной ткани, модифицированные бикомпонентными наночастицами Cu-Ag при исходной концентрации солей  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0003 М,  $\text{AgNO}_3$  0,0006 М без введения гидрата аммиака и с введением соответственно.

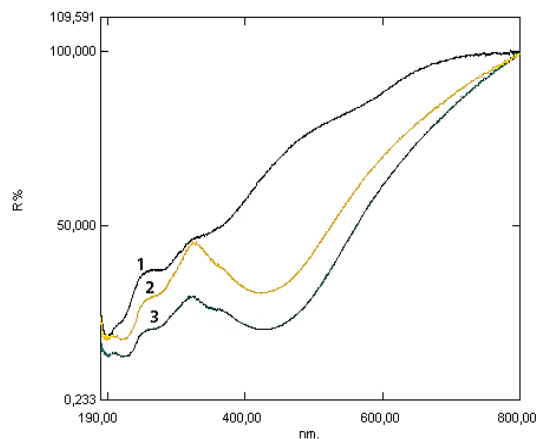


Рис. 3

Спектры отражения полученных образцов, представленные на рис. 3, свидетельствуют о значительной интенсификации процесса образования и роста биметаллических наночастиц на субстрате в щелочной

среде при дополнительном введении гидрата аммиака. Наилучшее значение было получено при добавлении к нитрату серебра гидрата аммиака  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  до pH 8–9.

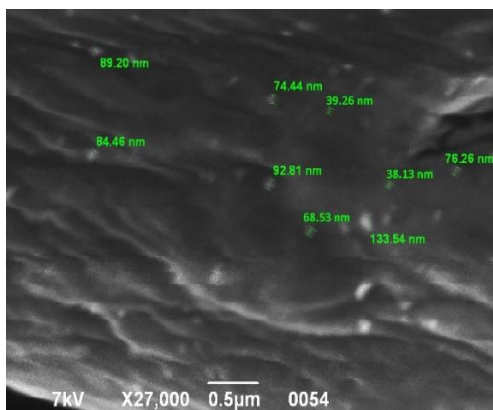


Рис. 4

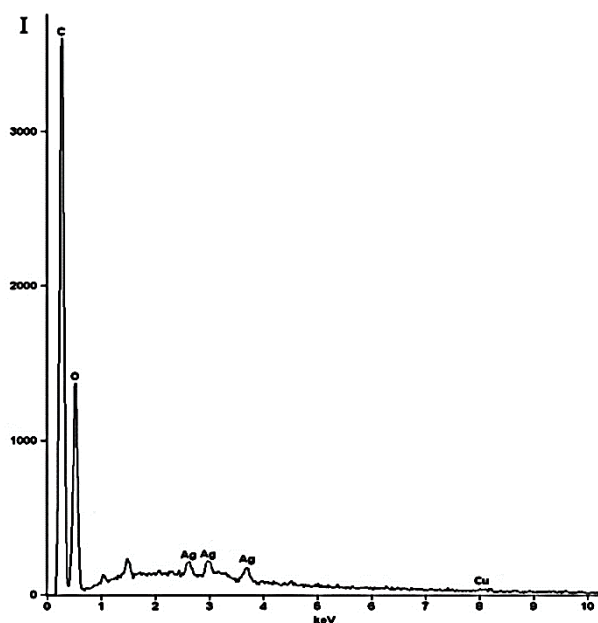


Рис. 5

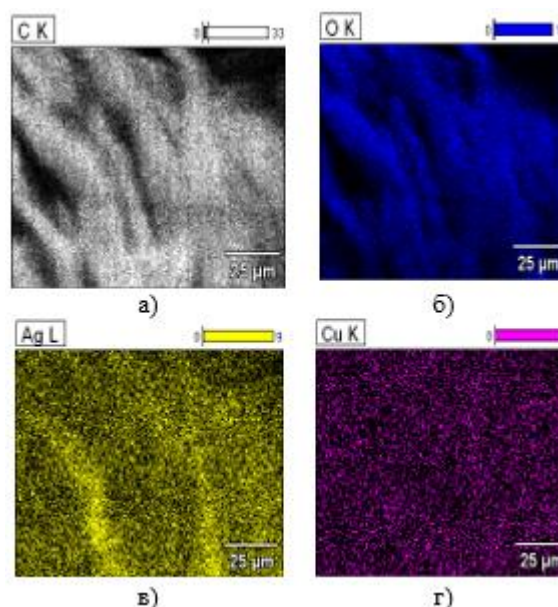


Рис. 6

Данные, полученные с помощью ПЭСЭМ HITACHI S-4700, подтверждают образование на поверхности хлопчатобумажной ткани биметаллических наночастиц медь-серебро, а также показывают достаточно равномерное распределение образовавшихся наночастиц на поверхности и в структуре субстрата (рис. 6).

На рис. 7 представлены ИК-спектры, полученные с помощью инфракрасного Фурье спектрометра Shimadzu FTIR-8400S, для образцов хлопчатобумажной ткани: а – без обработки, б – с нанесенными биметал-

Размеры образовавшихся на хлопчатобумажной ткани биметаллических наночастиц Cu–Ag, зафиксированные с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA, варьируются в диапазоне от 38 до 93 нм при исходной концентрации солей  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0003 М и  $\text{AgNO}_3$  0,0003 М (рис. 4).

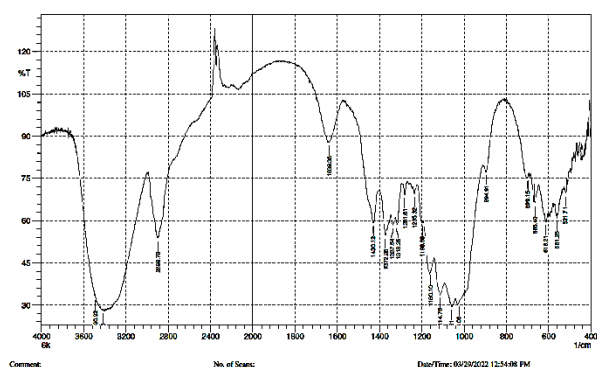
На рис. 5 и 6 представлены спектр рентгеновского излучения и рентгеновское картирование элементного состава модифицированной биметаллическими наночастицами хлопчатобумажной ткани, полученные с помощью ПЭСЭМ HITACHI S-4700. При обработке ткани концентрации исходных солей меди и серебра составляли 0,001 М и 0,002 М соответственно, pH 9 ( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

лическими наночастицами медь-серебро, концентрации прекурсоров:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,001 М,  $\text{AgNO}_3$  0,002 М,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

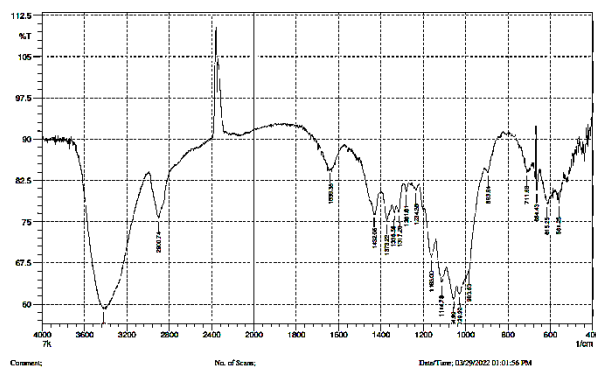
Спектры хлопковой целлюлозы характеризуются следующими частотами: интенсивная размытая полоса  $3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$  и менее интенсивная в области  $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$  обусловлены валентными колебаниями гидроксильных групп, включенных в водородную связь, и групп  $=\text{CH}-$  и  $-\text{CH}_2-$ ;  $1650\text{--}1635\text{ см}^{-1}$  – деформационные колебания (ДК) связей  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ , обусловлены присутствием связанной воды;  $1457\text{--}1236\text{ см}^{-1}$

– ДК связанной ОН-группы;  $1430\text{ см}^{-1}$ ,  $1370\text{ см}^{-1}$  – ДК групп  $\text{CH}_2$ ;  $1340\text{ см}^{-1}$  – ДК О–Н в

$\text{CH}_2\text{OH}$ ;  $1160\text{ см}^{-1}$ ,  $1110\text{ см}^{-1}$ ,  $1060\text{ см}^{-1}$  – ВК связей С–О [16], [17].



а)

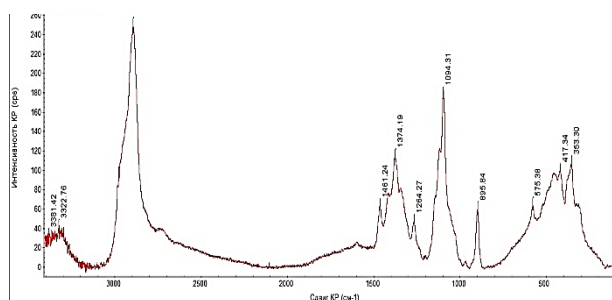


б)

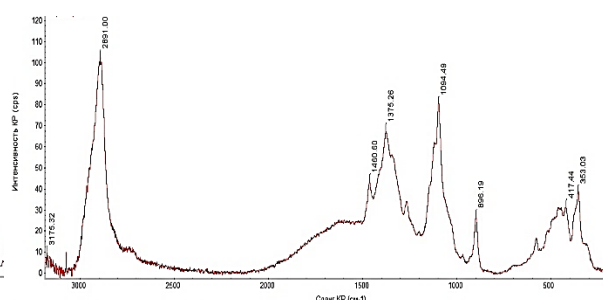
Рис. 7

У образца хлопчатобумажной ткани, модифицированного биметаллическими наночастицами медь-серебро, наблюдаются структурные изменения в области валентных колебаний групп –ОН, участвующих в межмолекулярных и внутримолекулярных водородных связях ( $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ ), а также в области деформационных колебаний связанной ОН-группы ( $1457\text{--}1236\text{ см}^{-1}$ ), что указывает на взаимодействие функциональных групп с наночастицами.

На рис. 8 представлены КР-спектры, полученные методом комбинационного рассеяния. Исследование проводилось на спектрометре DXR Raman Microscope, для образцов хлопчатобумажной ткани: а – без обработки; б – с нанесенными биметаллическими наночастицами медь-серебро при концентрации прекурсоров  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   $0,001\text{ М}$  и  $\text{AgNO}_3$   $0,002\text{ М}$  с добавлением  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .



а)



б)

Рис. 8

Спектры комбинационного рассеяния хлопчатобумажной ткани характеризуются следующими частотами:  $2892\text{--}2891\text{ см}^{-1}$  – колебания связей  $\text{CH}$ ;  $1461\text{--}1374\text{ см}^{-1}$  – асимметричные и симметричные колебания связей  $\text{CH}_2$ ;  $1094\text{ см}^{-1}$  – колебания связей  $\text{C}\text{--}\text{C}$ ;  $896\text{ см}^{-1}$  – колебания связей  $\text{C}\text{--}\text{C}\text{--}\text{O}$ ;  $520\text{--}353\text{ см}^{-1}$  – скелетные колебания  $\text{C}\text{--}\text{O}\text{--}\text{C}$ ,  $\text{C}\text{--}\text{C}$ ,  $\text{O}\text{--}\text{C}\text{--}\text{C}$ ,  $\text{O}\text{--}\text{C}\text{--}\text{O}$  [18], [19]. Интенсивность колебаний  $2892\text{--}2891\text{ см}^{-1}$  значительно снизилась у модифицированного образца (102 ед.) по сравнению с необработанным образцом (248,8 ед.). Также наблюдается снижение интенсивности и других колебаний в 2–3 раза ( $1460$ ,  $1375$ ,  $1094$ ,  $896$ ,  $417\text{ см}^{-1}$ ). Это также подтверждает химичес-

кое взаимодействие функциональных групп с наночастицами.

кое взаимодействие функциональных групп с наночастицами.

На рис. 9 представлены кривые интенсивности рентгеновского рассеяния трикотажа из хлопчатобумажных волокон, полученные с помощью рентгеновского дифрактометра PANalitical X'Pert PRO Extended: 1 – необработанный образец; 2 – образец, модифицированный бикомпонентными наночастицами Cu-Ag при концентрации прекурсоров  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0003 М,  $\text{AgNO}_3$  0,0006 М, с добавлением  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  до pH 9; 3 – образец, модифицированный бикомпонентными наночастицами Cu-Ag при концентрации прекурсоров  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,001 М,  $\text{AgNO}_3$  0,002 М, с добавлением  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  до pH 9.

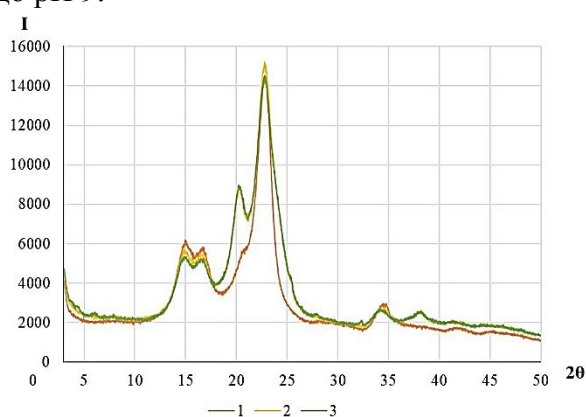


Рис. 9

Положения основных рефлексов на рентгенодифрактограмме необработанного образца трикотажа из хлопчатобумажных волокон (рис. 9, кривая 1) находятся в обла-

сти, характерной для полиморфной модификации целлюлозы I, на что указывают рефлексы при  $2\theta \sim 14,5^\circ$ ;  $16,5^\circ$ ;  $22,4^\circ$  и  $34,5^\circ$ . У модифицированных образцов (рис. 9, кривые 2, 3) наблюдается дополнительный рефлекс при  $2\theta \sim 20^\circ$ , что характерно для полиморфной модификации целлюлозы II, которая имеет термодинамически более устойчивую, чем у целлюлозы I, решетку. Кроме того, у модифицированного образца трикотажа из хлопчатобумажных волокон наблюдаются дополнительные рефлексы в области  $2\theta \sim 27,5^\circ$ ,  $32,5^\circ$  и  $38^\circ$ , что относится к наночастицам Ag, согласно литературным источникам [20].

Модифицированные текстильные материалы были подвергнуты многократным стиркам в соответствии с ГОСТ Р ИСО 105-C06-2011 для определения изменения приобретенной окраски. Все образцы показали отличные результаты, оценки составляют от 5/5/5 до 5/4-5/5 даже после 5-й стирки при температуре кипения и постоянном перемешивании в течение 240 мин. Спектральные характеристики модифицированных хлопчатобумажных материалов, зафиксированные на спектрофотометре Shimadzu UV-2401PC, после стирки практически не изменились.

Были исследованы антибактериальные и противогрибковые свойства модифицированных тканей. В табл. 1 представлены данные по проведенным испытаниям на устойчивость к микробиологическому разрушению согласно ГОСТ 9.060-75.

Т а б л и ц а 1

№	Образец, краткое описание	Разрывная нагрузка, кгс		Коэффициент устойчивости к микробиологическому разрушению П, %
		до выдержки в земле	после выдержки в земле	
1	Хлопчатобумажная ткань необработанная	17,2	2,6	15,12
2	Хлопчатобумажная ткань, модифицированная Cu-Ag при исходных концентрациях солей $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,0003 М, $\text{AgNO}_3$ 0,0002 М	22,9	22,9	100,00

Хлопчатобумажная ткань, модифицированная биметаллическими наночастицами медь-серебро, не подвергается микробиологическому разрушению, коэффициент устойчивости к микробиологическому разрушению П  $\geq (80 \pm 5) \%$ .

Лабораторные испытания модифицированной ткани на стойкость к воздействию плесневых грибов *Penicillium chrysogenum* показали, что при концентрациях прекурсоров  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0003 М,  $\text{AgNO}_3$  0,0002 М



наблюдается угнетение роста плесневых грибов по сравнению с контрольной пробой.

Исследования бактерицидных свойств *in vitro* образца хлопчатобумажной ткани с нанесенными биметаллическими наночастицами Cu-Ag при концентрациях прекурсоров  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,001 М,  $\text{AgNO}_3$  0,002 М проводили в НИИ Эпидемиологии и микробиологии им. Пастера. При проведении теста обнаружен бактерицидный эффект: количество выросших за 24 ч микроорганизмов (КОЕ/мл) *E. coli* у образца с наночастицами ( $1 \cdot 10^3$ ) на 5 порядков ниже по сравнению с контрольной

пробой ( $3 \cdot 10^8$ ), количество микроорганизмов *S. aureus* на 4 порядка ниже ( $5 \cdot 10^4$ ) по сравнению с контрольной пробой ( $5 \cdot 10^8$ ).

Помимо придаваемых противомикробных свойств для потребителя очень важно, чтобы материал был нетоксичным, не вызывал аллергии. Поэтому модифицированные хлопчатобумажные ткани были исследованы на токсичность методом биотестирования по чувствительности дрожжевой культуры *S. cerevisiae*. Полученные данные представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№	Образец, краткое описание	Оптическая плотность (А) при $\lambda = 650$ нм	А при $\lambda = 650$ нм через 48 ч
0	Контрольный раствор	1,965	2,179
1	Хлопчатобумажная ткань необработанная	1,965	2,120
2	Хлопчатобумажная ткань, модифицированная Cu-Ag 0,0005 М $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,0002 М $\text{AgNO}_3$	1,965	2,150
3	Хлопчатобумажная ткань, модифицированная Cu-Ag 0,001 М $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,002 М $\text{AgNO}_3$	1,965	2,040

Как видно из данных, представленных в табл. 2, угнетение роста дрожжевой культуры *S. cerevisiae* не наблюдается. Это доказывает, что модифицированный текстильный материал не является токсичным.

## В Ы В О Д Ы

В ходе проведенных исследований химического синтеза биметаллических наночастиц медь-серебро (Cu-Ag) в структуре хлопчатобумажных волокнистых материалов установлено, что образующиеся наночастицы Cu-Ag имеют оболочку из нульвалентного серебра, что подтверждено данными, полученными с помощью спектрофотометра SHIMADZU UV-2401PC, а также кривыми интенсивности рентгеновского рассеяния, полученными с помощью рентгеновского дифрактометра PANalitical X'Pert PRO Extended.

Данные, полученные с помощью ПЭСЭМ HITACHI S-4700, подтверждают образование на поверхности хлопчатобумажной ткани биметаллических наноча-

стиц медь-серебро, а также показывают достаточно равномерное распределение образовавшихся наночастиц на поверхности и в структуре субстрата

С помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA определены размеры образовавшихся на хлопчатобумажной ткани биметаллических наночастиц Cu-Ag, они составляют 38–133 нм.

За счет взаимодействия катионов металлов с функциональными группами самого субстрата, такими как  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ , выступающими в качестве восстановителя для металлических наночастиц, происходит закрепление прочными связями, что подтверждено испытаниями в соответствии с ГОСТ Р ИСО 105-C06-2011 на устойчивость к стиркам, а также ИК-Фурье спектрами и КР-спектрами.

Подтверждены антибактериальные и противогрибковые свойства модифицированных хлопчатобумажных текстильных материалов, а также устойчивость к микробиологическому разрушению. Кроме того,

модифицированные таким способом текстильные материалы не являются токсичными, что подтверждено тестами по чувствительности дрожжевой культуры *S. cerevisiae*.

Модифицированные материалы могут найти применение в производстве медицинской спецодежды, постельного белья для больниц, нижней одежды и чулочно-носочных изделий, а также обивки для мебели в поездах дальнего следования и самолетах.

Вместе с тем, такая обработка позволяет придать материалу цвета от золотисто-желтого до темно-коричневого, что позволяет использовать такие материалы в дизайне интерьера, одежды и др.

На разработанный способ получен патент РФ № 2776057 от 13.07.2022 на изобретение "Способ получения антимикробного серебросодержащего материала" - Е.В. Кудрявцева, А. А. Буринская, заявка № 2021114834 от 24.05.2021.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hajipour M.J., Fromm K.M., Ashkarran A.A., D.J. de Aberasturi, I.R. de Larramendi, Rojo T., Serpooshan V., Parak W.J., Mahmoudi M. Antibacterial properties of nanoparticles // Trends in Biotechnology. – 2012. Vol. 30. P. 499...511.

2. Bharti S., Mukherji S. Enhanced antibacterial activity of decahedral silver nanoparticles // J. Nanopart. Res. – 2021. Vol. 23, № 36. P. 1...18.

3. Dorobantu L.S., Fallone C., Noble A.J., Veinot J., Ma G., Goss G.G., Burrell R.E. Toxicity of silver nanoparticles against bacteria, yeast, and algae // J. Nanopart. Res. – 2015, Vol. 17, № 172. P.1...13.

4. Mordorski B., Prow T. Nanomaterials for Wound Healing // Curr. Derm. Rep. – 2016. Vol.5. P. 278...286.

5. Prasher P., Singh M., Mudila H. Silver nanoparticles as antimicrobial therapeutics: current perspectives and future challenges // 3 Biotech. – 2018. Vol. 8, №411. P. 1...23.

6. Alavi M., Varma R.S. Antibacterial and wound healing activities of silver nanoparticles embedded in cellulose compared to other polysaccharides and protein polymers // Cellulose. – 2021. Vol. 28. P. 8295...8311.

7. Larimer C., Islam M.S., Ojha A., Nettleship I. Mutation of environmental mycobacteria to resist silver nanoparticles also confers resistance to a common antibiotic // Biometals. – 2014. Vol. 27, № 4. P.695...702.

8. Silver L.L. Challenges of antibacterial discovery // Clinical microbiology reviews. – 2011. Vol. 24, № 1. P. 71...109.

9. Xiong Z. Ag-Cu bimetallic nanoparticle synthesis and properties: dissertation for the degree of Doctor of Philosophy // Pittsburgh, 2017. P. 1...154.

10. Mijndonckx K., Leys N., Mahillon J., Silver S., Houdt R.V. Antimicrobial silver: uses, toxicity and potential for resistance // Biometals. – 2013. Vol. 26, №4. P. 609...621.

11. Galashina V.N., Erokhina E.V., Dymnikova N.S. et al. Modification of polyester and cellulose fiber-based materials with biologically active mono- and bimetallic nanoparticles // Russ J Gen Chem. – 2017. Vol. 87. P.1403...1411.

12. Бакина О.В. Физико-химические основы получения высокоэффективных антимикробных материалов на основе бикомпонентных наночастиц металлов и оксидов металлов: Дис... докт. техн. наук. – Т., 2021.

13. Reyes-Blas M., Maldonado-Luna N.M., Rivera-Quiñones C.M., Vega-Avila A.L., Roman-Velázquez F.R., Perales-Perez O.J. Single Step Microwave Assisted Synthesis and Antimicrobial Activity of Silver, Copper and Silver-Copper Nanoparticles // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. – 2020. Vol. 8. P. 13...29.

14. Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И. Сравнительная оценка чувствительности разных тест-функций *Saccharomyces cerevisiae* к солям тяжелых металлов // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – М., 2017. Т. 25, № 2. С. 206...216.

15. Буринская А.А., Газизулина А.Р., Кудрявцева Е.В. Получение наночастиц серебра на полимерных материалах без использования восстановителей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2020, № 1/47. С. 83...87.

16. Гусматулина Ю.А., Бударева В.В. Сравнение целлюлоз, выделенных из мискантуса, с хлопковой целлюлозой методом ИК-Фурье спектроскопии // Ползуновский Вестник. – Барнаул, 2014, № 3. С.177...181.

17. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений: Справочные материалы // МГУ имени М.В. Ломоносова. – М., 2012. С.1...55.

18. Li-Ling Cho. Identification of textile fiber by Raman microspectroscopy // Forensic Science Journal. – 2007, № 6 (1). P. 55...62.

19. Puchowicz D., Cieślak M. Raman Spectroscopy in the Analysis of Textile Structures // Recent Developments in Atomic Force Microscopy and Raman Spectroscopy for Materials Characterization. – 2021. P.1...21.

20. Ragab H.M., Rajeh A. Structural, thermal, optical and conductive properties of PAM/PVA polymer composite doped with Ag nanoparticles for electrochemical application // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2020, № 31. P.16780...16792.

#### REFERENCES

1. Hajipour M.J., Fromm K.M., Ashkarran A.A., D.J. de Aberasturi, I.R. de Larramendi, Rojo T., Serpooshan V., Parak W.J., Mahmoudi M. Antibacterial

properties of nanoparticles // Trends in Biotechnology. – 2012. Vol. 30. P. 499...511.

2. Bharti S., Mukherji S. Enhanced antibacterial activity of decahedral silver nanoparticles // J. Nanopart. Res. – 2021. Vol. 23, № 36. P. 1...18.

3. Dorobantu L.S., Fallone C., Noble A.J., Veinot J., Ma G., Goss G.G., Burrell R.E. Toxicity of silver nanoparticles against bacteria, yeast, and algae // J. Nanopart. Res. – 2015, Vol. 17, № 172. P.1...13.

4. Mordorski B., Prow T. Nanomaterials for Wound Healing // Curr. Derm. Rep. – 2016. Vol.5. P. 278...286.

5. Prasher P., Singh M., Mudila H. Silver nanoparticles as antimicrobial therapeutics: current perspectives and future challenges // 3 Biotech. – 2018. Vol. 8, №411. P. 1...23.

6. Alavi M., Varma R.S. Antibacterial and wound healing activities of silver nanoparticles embedded in cellulose compared to other polysaccharides and protein polymers // Cellulose. – 2021. Vol. 28. P. 8295...8311.

7. Larimer C., Islam M.S., Ojha A., Nettleship I. Mutation of environmental mycobacteria to resist silver nanoparticles also confers resistance to a common antibiotic // Biometals. – 2014. Vol. 27, № 4. P.695...702.

8. Silver L.L. Challenges of antibacterial discovery // Clinical microbiology reviews. – 2011. Vol. 24, № 1. P. 71...109.

9. Xiong Z. Ag-Cu bimetallic nanoparticle synthesis and properties: dissertation for the degree of Doctor of Philosophy // Pittsburgh, 2017. P. 1...154.

10. Mijndonckx K., Leys N., Mahillon J., Silver S., Houdt R.V. Antimicrobial silver: uses, toxicity and potential for resistance // Biometals. – 2013. Vol. 26, №4. P. 609...621.

11. Galashina V.N., Erokhina E.V., Dymnikova N.S. et al. Modification of polyester and cellulose fiber-based materials with biologically active mono- and bimetallic nanoparticles // Russ J Gen Chem. – 2017. Vol. 87. P.1403...1411.

12. Бакина О.В. Физико-химические основы получения высокоэффективных антимикробных материалов на основе бикомпонентных наночастиц металлов и оксидов металлов: Дис... докт. техн. наук. – Т., 2021.

13. Reyes-Blas M., Maldonado-Luna N.M., Rivera-Quiñones C.M., Vega-Avila A.L., Roman-Velázquez F.R., Perales-Perez O.J. Single Step Microwave Assisted Synthesis and Antimicrobial Activity of Silver, Copper and Silver-Copper Nanoparticles // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. – 2020. Vol. 8. P. 13...29.

14. Vyatchina O.F., Zhdanova G.O., Stom D.I. Comparative evaluation of sensitivity of different test functions of Saccharomyces cerevisiae of heavy metals // RUDN Journal of Ecology and Life Safety. – M., 2017, Vol. 25, № 2. P. 206...216.

15. Burinskaya A.A., Gazizullina A.R., Kudriavtseva E.V. Obtaining of silver nanoparticles on polymer materials without reducing agents // The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry. – SPbGUPTD, 2020, No. 1/47. P. 83...87.

16. Gismatulina Yu.A., Budareva V.V. Comparison of cellulose isolated from miscanthus with cotton cellulose by IR-Fourier spectroscopy // Polzunovskiy Vestnik. - Barnaul, 2014, No. 3. S. 177 ... 181.

17. Tarasevich B.N. IR spectra of the main classes of organic compounds: Reference materials // Lomonosov Moscow State University. - M., 2012. P.1...55.

18. Li-Ling Cho. Identification of textile fiber by Raman microspectroscopy // Forensic Science Journal. – 2007, № 6 (1). P. 55...62.

19. Puchowicz D., Cieślak M. Raman Spectroscopy in the Analysis of Textile Structures // Recent Developments in Atomic Force Microscopy and Raman Spectroscopy for Materials Characterization. – 2021. P.1...21.

20. Ragab H.M., Rajeh A. Structural, thermal, optical and conductive properties of PAM/PVA polymer composite doped with Ag nanoparticles for electrochemical application // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2020, № 31. P.16780...16792.

Рекомендована кафедрой химических технологий им. А.А. Хархарова. Поступила 26.10.22



**ПОЛУЧЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНО-ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА  
НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДА ТЕТРААЛКИЛАММОНИЯ\***

**SYNTHESIS OF TEXTILE AUXILIARY SUBSTANCE  
BASED ON TETRAALKYLAMMONIUM HALOGENIDE**

*Е.А. КУЗЬМИЧЕВА, М.С. КАЛУГИНА, А.П. МИХАЙЛОВСКАЯ, С.С. ЛЫСОВА*

*E.A. KUZMICHEVA, M.S. KALUGINA, A.P. MIKHAILOVSKAYA, S.S. LYSOVA*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University of Technology and Design)

E-mail: mykhanya@yandex.ru

*Статья посвящена разработке технологии получения бромид триэтилдодециламмония, который может использоваться в качестве интенсификатора крашения при колорировании текстильных материалов на основе целлюлозы. Изучено влияние температуры, химической природы субстрата и применение катализатора на получение четвертичной аммониевой соли реакцией алкилирования третичного амина и его гидрохлорида. Идентификация продуктов реакции проведена методами УФ и ИК спектроскопии. Проведенные исследования позволили определить оптимальную температуру (165°C) синтеза и сократить время реакции до 20 мин. Установлено, что субстратом может являться и триэтиламин, и его гидрохлорид. Также проиллюстрирован интенсифицирующий эффект четвертичной аммониевой соли при крашении различных целлюлозных волокон активными красителями.*

*The paper investigates the synthesis of triethyldodecyl ammonium bromide. This ammonium salt can be used in the coloring of textile cellulose-based materials as a dyeing intensifier. Triethyldodecyl ammonium bromide was synthesized from alkylation reaction between triethylamine/hydrochloride triethylamine and dodecyl bromide, its structure was characterized by spectrometry analyses (FTIR, UV). The effect of temperature, substrate structure, and the use of a catalyst on the reaction were studied. The optimal synthesis temperature and the reaction time were determined. Cellulose fibers dyed with active dyes possessed excellent color parameters (lightness, color axes, color intensity).*

**Ключевые слова:** бромид триэтилдодециламмония, алкилирование, интенсификатор, крашение, текстильные материалы, поверхностно-активные вещества.

**Keywords:** triethyldodecylammonium bromide, alkylation, intensifier, dyeing, textile materials, surfactants.

---

\* Работа выполнена на кафедре химических технологий имени проф. А.А. Хархарова Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна в рамках программы "Приоритет-2030".

Как известно, четвертичные аммониевые соли (ЧАС) – это соединения, содержащие положительно заряженный атом азота, ковалентно связанный с четырьмя органическими радикалами. В отличие от самого иона аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) и катионов первичного, вторичного или третичного аммония, четвертичные катионы аммония постоянно заряжены независимо от pH среды (раствора). Если хотя бы один из радикалов четвертичного катиона аммония содержит более 10 атомов углерода, а анионом является ион галогена ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), то такие ЧАС относятся к поверхностно-активным веществам катионного типа (КПАВ), которые широко применяются в текстильной промышленности как смачиватели, пенообразователи, солиubilизаторы, эмульгаторы, выравниватели окраски [1], [2].

В ранее проведенных исследованиях установлено, что галогениды тетраалкиламмония обладают интенсифицирующим действием в процессах колорирования текстильных материалов из натуральных и синтетических волокон. Например, использование хлорида триэтилбензиламмония при колорировании полиэфирных материалов позволяет проводить процессы при температуре, не превышающей  $100^\circ\text{C}$ , с получением интенсивных и устойчивых окрасок, что предопределяет возможность экономии тепловой и электрической энергии [3]. Технология крашения полипропиленового волокна из водных растворов бромид диметилдодецилбензиламмония и дисперсного красителя лишена тех сложностей, которые сопровождают их окрашивание в массе, значительно расширяет цветовую гамму полученных окрасок, позволяет сохранять ценные свойства волокнообразующего полимера [4]. Практический интерес представляет совмещенная технология крашения и биостойкой отделки целлюлозных волокнистых материалов, когда специфические свойства бромид диметилдодецилбензиламмония проявляются в придании текстилю устойчивости к микроорганизмам [5]. Известно, что многие ЧАС обладают антисептическими свойствами [6...8].

Следует отметить, что интенсификаторы крашения на основе ЧАС в отличие от традиционных интенсификаторов характеризуются низкой токсичностью [9], что позволяет разрабатывать безопасные для человека и окружающей среды технологии крашения текстильных материалов различного волокнистого состава.

Однако на сегодняшний день существует проблема, связанная с тем, что ассортимент галогенидов тетраалкиламмония российского производства сильно ограничен. Согласно каталогам российских производителей химических веществ доступны две ЧАС из ряда исследованных в качестве интенсификаторов крашения: хлорид триэтилбензиламмония, который применяется в очистке сточных вод [10], и бромид триметилцетиламмония, используемый в изготовлении моющих средств [11]. Поэтому актуальной задачей является разработка технологии получения галогенидов тетраалкиламмония, являющимися текстильно-вспомогательными веществами.

Анализ литературы в области методов синтеза ЧАС [12] позволил выделить два способа: одностадийный метод получения реакцией первичных аминов с метилхлоридом в присутствии щелочи и двухстадийный процесс, основной стадией которого является реакция метилирования алкиламина формальдегидом в среде органического растворителя [13].

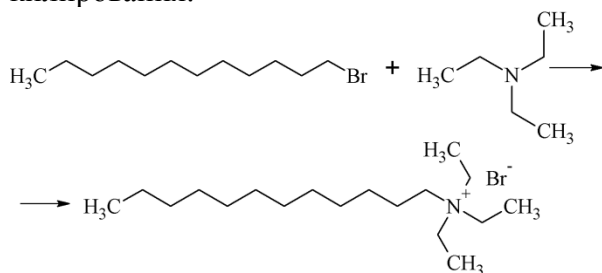
Для устранения недостатков выбранных способов, а именно применения формальдегида и получения хлорида натрия в качестве побочного продукта, целесообразным способом получения галогенида триэтилалкиламмония является алкилирование триэтиламина или его соли алкилгалогенидом.

Цель настоящей работы – изучение процесса синтеза галогенида триэтилалкиламмония в зависимости от химической природы субстрата, температуры основной реакции и присутствия катализатора, а также оценка интенсифицирующего действия полученного вещества в процессах крашения целлюлозных волокон активными красителями.

### Экспериментальная часть

#### Синтез бромида триэтилдодециламмония.

В основе способа получения бромида триэтилдодециламмония лежит реакция алкилирования:



Эксперимент 1 заключается в том, что в качестве субстрата использовали не третичный амин, а его гидрохлорид. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником и мешалкой, загружали 19,85 мл бромистого додецила и 11 г гидрохлорида триэтиламина при температуре 0 °С. Температуру поднимали до определенной температуры, продолжительность синтеза составила 60 мин. После окончания реакции реакцию смесь охлаждали до 0 °С, полученный осадок фильтровали и сушили над хлористым кальцием. С целью установления оптимальной температуры синтеза эксперимент проводили при 125, 145 и 165 °С.

Эксперимент 2 отличается от эксперимента 1 тем, что в качестве субстрата использовали третичный амин. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником и мешалкой, загружали 28,65 мл бромистого додецила и 16 мл полученного триэтиламина при температуре 0 °С. Температуру поднимали до 165 °С, продолжительность синтеза – 60 мин. После окончания реакции смесь продуктов охлаждали до 0 °С.

Эксперимент 3 отличается от эксперимента 1 тем, что в реакцию смесь добавляли катализатор. В реакцию смесь вместе с бромистым додецилом и гидрохлоридом триэтиламина загрузили 0,05 г хлорида алюминия. Температура синтеза – 165 °С.

#### Идентификация продуктов синтеза

Идентификацию полученных продуктов проводили спектральными методами анализа. УФ-спектры поглощения растворов

полученных веществ в области 190...220 нм регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV 2700 (растворитель – дистиллированная вода, кварцевые кюветы – 10 мм). Измерения проводили при 25 °С с термоэлектрическим контролем температуры ( $\pm 0,1$  °С). Для получения ИК-спектров использовали спектрометр с преобразованием Фурье FTIR-8400S (Shimadzu). Исследуемые образцы высушивали над хлористым кальцием, растирали, смешивали с микрокристаллическим бромидом калия в пропорции ~1:30 и прессовали в виде таблеток.

#### Определение колористических показателей окраски

Цветовые характеристики: коэффициент отражения и координаты цвета в системе CIELab определяли на спектрофотокориметре Color15 фирмы GretagMacbeth при стандартном источнике освещения. По коэффициенту отражения окрашенного образца при максимуме спектральной кривой оценивали интенсивность окраски как функцию ГКМ.

#### Результаты и их обсуждение

Первичную оценку продуктов реакции проводили визуально. Продукт, полученный при 125 °С, представляет собой белые кристаллы, при 145 °С – светло-желтые, при 165 °С – коричневые. Все полученные вещества хорошо растворяются в воде, что отвечает заданным требованиям. Очистку полученных продуктов реакции проводили методом перекристаллизации из диэтилового эфира.

Для идентификации продуктов реакции использовали методы ИК- и УФ-спектроскопии, которые являются одними из самых распространенных спектроскопических методов для изучения адсорбции ЧАС. Согласно литературным данным полосы валентных колебаний С–Н метильных и метиленовых групп являются одними из наиболее стабильных в спектре и проявляются в области 2700...3100 см<sup>-1</sup>, поэтому по характеру спектра в этой области можно судить об изменении структуры соли аммония [14]. ЧАС поглощают УФ-свет в области 200...210 нм, так максимум полосы поглощения УФ-спектра ЧАС с ароматичес-

ким радикалов соответствует длине волны 208 нм [15].

В ИК-спектрах всех полученных веществ можно выделить три области: область валентных колебаний С–Н и С–N связей, область деформационных колебаний С–С и С–Н связей, а также низкочастотную область, в которой проявляются колебания связи галогена. Значения частот, при которых проявляются основные полосы поглощения, соответствуют литературным данным. ИК-спектры гидрогалогенидов третичного амина (субстрата) и галогенидов тетраалкиламмония (продукта реакции) согласно экспериментальным и литературным данным имеют схожий характер. Однако сравнение ИК-спектра субстрата с ИК-спектрами продуктов реакции показало, что реакция при 125 и 145 °С не прошла. При 165 °С получено вещество, структура которого изменилась. Это подтверждает характер и значения частот полос поглощения при 2900...2700 см<sup>-1</sup> и в области "отпечатков пальцев" (рис. 1 – ИК-спектры субстрата (1) и продукта реакции, полученного при 165 °С (2)).

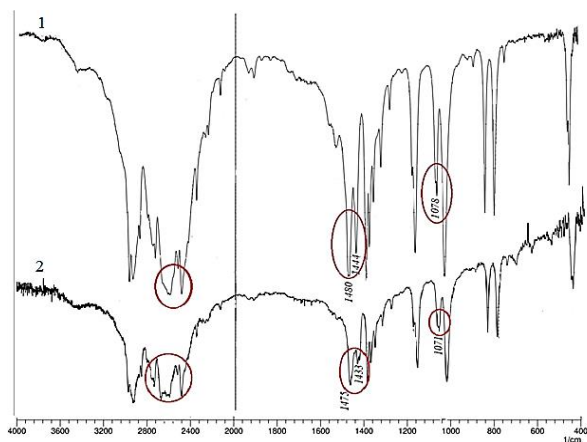


Рис. 1

ИК-спектры продуктов реакций, полученных по экспериментам 2 (алкилированием триэтиламина) и 3 (в присутствии катализатора) также имеют изменения в областях 2900...2700, 1480...1475 и 1080...1070 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о получении ЧАС.

Для идентификации продуктов реакции по УФ-спектрам в качестве образца сравне-

ния использовали бромид триметилдодecilаммония производства Sigma-Aldrich (чистота 99%). На рис. 2 представлены спектры поглощения водного раствора бромида триметилдодecilаммония с разной концентрации.

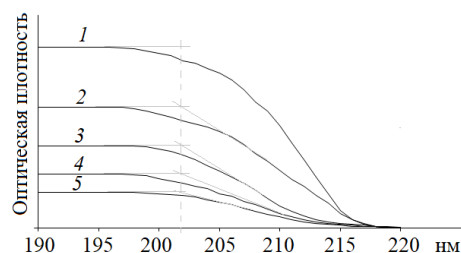


Рис. 2

Как видно из рис. 2 (УФ-спектры водного раствора бромида триметилдодecilаммония производства Sigma-Aldrich (чистота 99 %) с разной концентрацией [г/л]: 1 – 1,0; 2 – 0,8; 3 – 0,6; 4 – 0,4; 5 – 0,2), УФ-спектры водных растворов бромида триметилдодecilаммония не имеют максимумов полос поглощения, а характеризуются "плечом" в области 200...220 нм.

На рис. 3 (1 – субстрат; 2 – эксперимент 1, 125 °С; 3 – эксперимент 1, 145 °С; 4 – эксперимент 2, 165 °С; 5 – эксперимент 1, 165 °С) представлены УФ-спектры поглощения водных растворов субстрата и продуктов реакций, полученных по экспериментам 1 и 2.

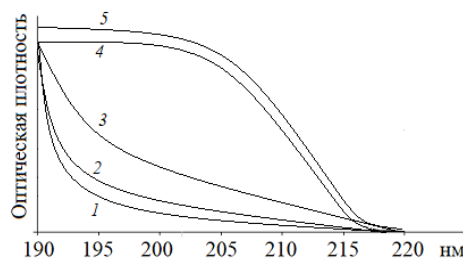


Рис. 3

Характер УФ-спектров подтверждает ранее сделанный вывод об оптимальной температуре синтеза 165 °С. При этой температуре образуется ЧАС в результате алкилирования триэтиламина (по эксперименту 2) и его гидрохлорида (по эксперименту 1).

На рис. 4 представлены УФ-спектры продуктов реакций, полученных с применением катализатора (эксперимент 3) (1 – субстрат; 2 – 10 мин, 3 – 20 мин, 4 – 30 мин.).

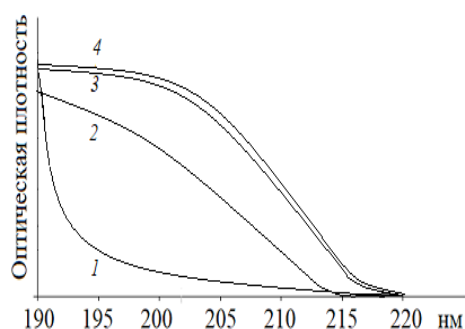


Рис. 4

На основе анализа рис. 4 можно сделать вывод, что с помощью хлорида алюминия продолжительность процесса алкилирования можно сократить до 20 мин.

Полученную ЧАС можно использовать в качестве интенсификатора крашения целлюлозных волокнистых материалов. Интенсифицирующий эффект галогенида тетраалкиламмония иллюстрируют колористические показатели полученных окрасок. В табл. 1 представлены координаты цветности в системе CIELab и показатели интенсивности окраски различных целлюлозных волокон, окрашенных с применением интенсификатора и без него, по периодическому способу.

Таблица 1

Образец	Reactive Red 35					Reactive Blue 13				
	L	a	b	R, %	K/S	L	a	b	R, %	K/S
Хлопок										
с ЧАС	57,1	42,0	-1,8	10,14	3,98	57,2	2,6	-6,7	11,05	3,58
без ЧАС	71,8	31,2	-0,8	32,47	0,70	70,2	3,4	-3,2	31,10	0,76
Лен										
с ЧАС	60,6	42,8	-5,4	16,26	2,16	50,5	1,0	-10,0	13,67	2,73
без ЧАС	75,7	14,6	-0,6	42,61	0,39	72,8	-1,8	-9,0	38,76	0,48
Крапива										
с ЧАС	40,8	40,4	-6,2	5,31	8,44	41,2	0,3	-15,4	9,01	4,59
без ЧАС	60,0	11,4	-3,1	24,15	1,19	59,4	-0,5	-7,0	24,67	1,15
Конопля										
с ЧАС	37,8	38,6	-3,2	4,35	10,52	40,8	0,7	-15,2	9,50	4,31
без ЧАС	54,1	13,5	-0,4	18,40	1,81	57,4	0,1	-4,2	29,5	0,84

Примечание. L – мера светлоты (от 0 до 100, от темного до светлого); a – положение цвета от зеленого до красного; b – положение цвета от синего до желтого; R – коэффициент отражения; K/S – интенсивность окраски,  $F(R) = (1-R)^2/(2R)$ , где R в долях.

По представленным данным видно, что интенсивность окраски на всех волокнах, технология крашения которых предусматривала применение галогенида тетраалкиламмония, значительно выше по сравнению с образцами, обработанных без добавления интенсификатора. Об этом свидетельствуют значения координаты светлоты L и коэффициенты отражения R. Самыми низкими значениями интенсивности окраски (K/S) обладают образцы льняного волокна. Например, интенсивность окраски льняного волокна, окрашенного красителем Reactive Red 35 с применением ЧАС, составляет всего 2,16, что в 5 раз меньше показателя интенсивности окраски конопляного волокна, обработанного в аналогичных условиях. Это можно объяснить жесткостью, вы-

сокой степенью полимеризации и присутствием в составе льна помимо целлюлозы примесей, таких как лигнин и восковые вещества. Однако если сравнивать образцы льняного волокна, окрашенного с применением интенсификатора и без него, то значения K/S увеличиваются в 6 раз (выше, чем у хлопкового волокна) как для монохлортриазинового, так и для винилсульфонового красителя. Наибольшие показатели интенсивности окраски волокон из крапивы и конопля (8,44...10,52) объясняются наличием природной окраски.

На наш взгляд, механизм интенсифицирующего действия аммониевых солей при крашении целлюлозных волокон обусловлен их сольватирующим действием по отношению к

биополимеру. Механизм взаимодействия ЧАС и целлюлозного волокна, при котором создаются условия для активизации процесса сорбции активных красителей и повышения степени их ковалентной фиксации, обсуждается в работе [16].

## ВЫВОДЫ

1. На основе литературного анализа было выделено два способа получения четвертичных аммониевых солей, которые легли в основу разработки технологии получения бромид триэтилдодециламмония. Технология заключается в алкилировании триэтиламина или его соли бромистым додецилом.

2. Используя методы ИК- и УФ-спектроскопии, установлено, что для проведения реакции необходимо нагревать реакционную смесь до 165 °С, при этом в качестве субстрата можно использовать третичный амин, и его гидрохлорид. Применение катализатора в реакции алкилирования позволяет сократить продолжительность синтеза до 20 мин.

3. На примере крашения различных целлюлозных волокон (хлопок, лен, крапива, конопля) проиллюстрирован интенсифицирующий эффект аммониевой соли: интенсивность окраски увеличивается в 5...7 раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поверхностно активные вещества и композиции / Под ред. М. Ю. Плетнева. – М.: "Кламель", 2002.

2. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. – СПб.: Профессия, 2005.

3. Михайловская А.П., Серова Н.Е., Киселев А.М. Использование четвертичных аммониевых соединений для интенсификации процесса крашения полиэфирных волокон // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2011, № 1. С. 57...61.

4. Михайловская А.П., Серенко М.С. Крашение полипропиленового волокна дисперсными красителями с применением четвертичных аммониевых солей // Химическая технология. – 2015, № 2. С.95...99.

5. Калугина М.С., Михайловская А.П., Zaboriski M., Киселев А.М. Придание биостойкости хлопчатобумажной пряже в процессе крашения активными красителями // Дизайн. Технология. Материалы. – 2016, № 2. С. 46...49.

6. Jennings M.C., Minbiole K.P.C., Wuest W.M. Quaternary ammonium compounds: an antimicrobial mainstay and platform for innovation to address bacterial resistance // ACS Infect. – 2016. P. 288...303.

7. Zhang C., Cui F., Zeng G., Jiang M., Yang Z., Yu Z., Zhu M., Shen L. Quaternary Ammonium Compounds (QACs): A Review on Occurrence, Fate and Toxicity in the Environment // J. Sci. Total Environ. – 2015. P. 352...362.

8. Gilbert P., Moore L. Cationic antiseptics: diversity of action under a common epithet // Journal of Applied Microbiology. – 2005. P. 703...715.

9. Михайловская А.П., Лозинская Е.Ю., Спицкий С.В., Киселев А.М. Использование низкотоксичных органических соединений для интенсификации процесса крашения полиэфирных волокон // Вестник Санкт-Петербургск. гос. ун-та технологии и дизайна. – 2009, № 3 (18). С.33...36.

10. Абрашистов Я.М., Дмитриев Ю.К., Ахметзянова Р.Ш., Скачко А.С. Способ очистки сточных вод от хлорорганических соединений / Патент РФ № 2187464. – Оpubл. 20.09.2002.

11. Прэстли С.К., Ван-Вууре А. Композиция для ухода за волосами / Патент РФ № 2350312. – Оpubл. 27.03.2009.

12. Кузьмичева Е.А., Елохин И.В. Синтез четвертичных аммониевых солей // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургск. гос. ун-та технологии и дизайна. – 2022, № 1. С.13...19.

13. Николаев П.В., Козлов Н.А., Петрова С.Н. Основы химии и технологии производства мощных средств. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2007. 116 с.

14. Grenoble Z., Baldelli S. Adsorption of the Cationic Surfactant Benzyldimethylhexadecyl-ammonium Chloride at the Silica–Water Interface and Metal Salt Effects on the Adsorption Kinetics // The Journal of Physical Chemistry. – 2012. V. 117, № 1. P. 259...272.

15. Duman O., Ayranci E. Adsorptive removal of cationic surfactants from aqueous solutions onto high-area activated carbon cloth monitored by in situ UV spectroscopy // Journal of Hazardous Materials. – 2010. V. 174, № 1. P. 359...367.

16. Михайловская А.П., Серова Н.Е., Калугина М.С., Киселев А.М. Оценка интенсифицирующего эффекта четвертичных аммониевых солей в процессе крашения целлюлозных материалов активными красителями // Журнал прикладной химии. – 2014. Т. 87. Вып. 1. С. 114...119.

## REFERENCES

1. Surfactants and compositions / edited by M. Y. Pletnev. – М.: "Klavel", 2002. 701 p.

2. Lange K. R. Surfactants. A Practical Handbook. – Munich, 1999. 237 p.

3. Mikhailovskaya A.P., Serova N.E., Kiselev A.M. The use of quaternary ammonium compounds for the intensification of the dyeing process of polyether fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya

Tekhnologiya Legkoi Promyshlennosti. - 2011, 1. P.57...61.

4. *Mikhailovskaya A.P., Serenko M.S.* Dyeing of polypropylene fiber with dispersed dyes using quaternary ammonium salts // *Himicheskaya tehnologiya*. – 2015, 2. P. 95...99.

5. *Kalugina M.S., Mikhailovskaya A.P., Zaborski M., Kiselev A.M.* Making cotton yarn bio-resistant during dyeing with active dyes // *Dizayn. Tehnologii. Materialy*. – 2016, 2. P. 46...49.

6. *Jennings M.C., Minbiole K.P.C., Wuest W.M.* Quaternary ammonium compounds: an antimicrobial mainstay and platform for innovation to address bacterial resistance // *ACS Infect.* – 2016. P. 288...303.

7. *Zhang C.; Cui F.; Zeng G.; Jiang M.; Yang Z.; Yu Z.; Zhu M.; Shen L.* Quaternary Ammonium Compounds (QACs): A Review on Occurrence, Fate and Toxicity in the Environment // *J. Sci. Total Environ.* – 2015. P. 352...362.

8. *Gilbert P., Moore L.* Cationic antiseptics: diversity of action under a common epithet // *Journal of Applied Microbiology*. – 2005. P. 703...715.

9. *Mikhailovskaya A.P., Lozinskaya E.Yu., Spitskiy S.V., Kiselev A.M.* The use of low-toxic organic compounds for the intensification of the dyeing process of polyester fibers // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizayna*. - 2009, No. 3 (18). P. 33...36.

10. *Abdrashitov Ya.M., Dmitriev Yu.K., Akhmetzyanova R.Sh., Skachko A.S.* Method of wastewater treatment from organochlorine compounds / Patent Russian № 2187464. – Publ. 09/20/2002.

11. *Priestley S.K., Van Vuuren A.* Composition for hair care / Patent Russian № 2350312. – Publ. 27.03.2009.

12. *Kuzmicheva E.A., Elokhin I.V.* Synthesis of quaternary ammonium salts // *Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo uni-versiteta tehnologii i dizayna*. – 2022, 1. P. 13...19.

13. *Nikolaev P.V., Kozlov N.A., Petrova S.N.* Fundamentals of chemistry and technology of detergent production. – Ivanovo, 2007. 116 p.

14. *Grenoble Z., Baldelli S.* Adsorption of the Cationic Surfactant Benzyldimethylhexadecylammonium Chloride at the Silica–Water Interface and Metal Salt Effects on the Adsorption Kinetics // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2012, V. 117, № 1. P. 259...272.

15. *Duman O., Ayranci E.* Adsorptive removal of cationic surfactants from aqueous solutions onto high-area activated carbon cloth monitored by in situ UV spectroscopy // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010, V. 174, № 1. P. 359...367.

16. *Mikhailovskaya A.P., Serova N.E., Kalugina M.S., Kiselev A.M.* Evaluation of the intensifying effect of quaternary ammonium salts in the course of dyeing of cellulose materials with active dyes // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2014, V. 87, № 1. P. 108...113.

Статья опубликована по материалам Смартекса.  
Поступила 14.10.22.

УДК 677.027.4.047.42:677.042.2  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_123

## **"ЗЕЛЕНый СИНТЕЗ" НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ДЛЯ ПРИДАНИЯ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

## **"GREEN SYNTHESIS" OF SILVER NANOPARTICLES TO GIVE ANTIMICROBIAL PROPERTIES TO TEXTILE MATERIALS**

*Т.С. ХЛЫСТОВА, Ю.С. ФИДОРОВСКАЯ, Л.С. ПЕТРОВА*

*T.S. KHLYSTOVA, YU.S. FIDOROVSKAYA, L.S. PETROVA*

(ООО "Колетек",

Ивановский государственный химико-технологический университет)

(LCC "Coletex",

Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: koletex@bk.ru; odolga@yandex.ru

*В настоящее время остается актуальной задача получения текстильных материалов (ТМ) с высокими защитными антимикробными свойствами для различных областей применения. Придание антимикробных свойств ТМ преследует две основные цели: защита человека от действия микроорганизмов (для этого используют перевязочные материалы, лечебные*



аппликации) и защиту от действия патогенной микрофлоры объектов, соприкасающихся с текстильными материалами (бахилы, халаты медиков, лечебное и постельное белье и т.д.). Связано это, в первую очередь, с постоянно возрастающей опасностью воздействия патогенных микроорганизмов на организм человека и выработки у них устойчивости к существующим противомикробным препаратам, причем развитие устойчивости наблюдается у микроорганизмов различных групп. Нивелировать такое негативное явление возможно при использовании для обработки текстильных материалов наночастиц серебра (НЧАг), которые обладают развитой поверхностью и уникальной антибактериальной активностью и резистентностью к широкому спектру микроорганизмов.

В работе использованы два способа синтеза НЧАг и получения антибактериальных материалов. Показана эффективность применения альгината натрия для получения НЧАг в составе печатной композиции на основе альгината натрия. Методами спектрофотометрии и электронной зондовой микроскопии определены размеры (до 60 нм) и форма НЧАг.

Разработана композиция для получения гидрозолей серебра, включающая восстановитель – моносахарид глюкозу и стабилизатор – поливинилпирролидон. Методом динамического рассеяния света определены размеры НЧАг, составляющие 70...90 нм. Подтверждена антибактериальная активность текстильных материалов, обработанных синтезированными НЧАг.

*At present, the problem of obtaining textile materials (TM) with high protective antimicrobial properties for various fields of application remains relevant. Imparting antimicrobial properties to TM has two basic goals: protection a person from the action of microorganisms (for this, dressings, medical applications, etc. are used) and protection from the action of pathogenic microflora of objects in contact with textile materials (shoe covers, medical gowns, medical and bed underwear, etc.). This is primarily due to the ever-increasing risk of exposure to pathogenic microorganisms on the human body and the emergence of their resistance to existing antimicrobial drugs. At the same time, the emergence of resistance was observe in microorganisms of various groups. It is possible to neutralize such a negative phenomenon by using silver nanoparticles for processing textile materials, which have a developed surface and unique antibacterial activity.*

*The paper describes two methods for the synthesis of silver nanoparticles and the preparation of antibacterial materials and resistance to a wide range of microorganisms groups. Two methods for the synthesis of AgNPs and the preparation of antibacterial materials was used. The effectiveness of using sodium alginate for the preparation of NPs included in the printed composition based on sodium alginate was showed. The sizes (up to 60 nm) and shape of AgNPs were determined by spectrophotometry and electron probe microscopy.*

*A composition for obtaining silver hydrosols in solution has been developed, including a reducing agent - glucose monosaccharide and a stabilizer - polyvinylpyrrolidone. The sizes of AgNPs were determined by the method of dynamic light scattering and amounted to 70–90 nm. The antibacterial activity of textile materials treated with synthesized AgNPs was confirmed.*

**Ключевые слова:** наночастицы серебра, альгинат натрия, глюкоза, антибактериальная активность.

**Keywords:** silver nanoparticles, sodium alginate, glucose, antibacterial activity.



## *Введение*

В последние годы для борьбы с патогенными микроорганизмами получило распространение применение ионов металлов, особенно ионов серебра, которые обладают выраженным бактерицидным, противогрибковым и антисептическим действием и служат высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении широкого круга патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции. Особое внимание обращено на НЧА<sub>g</sub>, характеризующихся уникальными свойствами. Они имеют чрезвычайно высокую резистентность к большинству патогенных микроорганизмов, большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его антимикробные действия [1]. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет существенно снизить его концентрацию с сохранением всех бактерицидных свойств, при этом, практически не проявляя токсичность по сравнению с ионной формой. Разработаны многочисленные физические, химические, физико-химические методы синтеза наночастиц металлов, недостатками которых являются токсичность в случае использования химического синтеза, дороговизна и сложность требуемого оборудования для физических и физико-химических способов [2...5]. Для химического синтеза НЧА<sub>g</sub> используют восстановители различной природы [6...8]. К ним относят такие биологически активные вещества, как флаваноиды, например кверцетин [9]. Наиболее интересно сочетание кверцетина и метода обратных мицелл [10]. Основным недостатком такого способа – применение органических растворителей, что не позволяет внедрять полученные частицы в медицинскую практику. Значимым направлением в области получения НЧА<sub>g</sub> является "зеленый" биосинтез на основе биовосстановителей – растительных компонентов, водорослей и бактерий [11...13]. Показана эффективность использования экстракта кожуры папайи в процессе получения НЧА<sub>g</sub>, наличие аминогруппы и карбоксильной группы в реакционной смеси способствуют восстановле-

нию ионов серебра до наночастиц. Подтверждена активность таких частиц по отношению к *E.coli* и *S. Aureus* [14]. Перспективным является использование биоактивных полисахаридов морских водорослей и моносахаридов в качестве восстановителей для получения структурированных частиц серебра [15]. Полученные в этом случае НЧА<sub>g</sub> могут найти применение для создания антибактериальных профилактических и медицинских ТМ [16].

Цель настоящего исследования заключалась в разработке экологически безопасных методов синтеза НЧА<sub>g</sub>, применяемых в дальнейшем для получения функциональных волокнистых материалов с использованием технологий отделки текстиля.

## *Методы*

Для получения защитных ТМ и изделий с антибактериальными свойствами в работе изучались методы биологического восстановления серебра ("зеленый синтез"), для этого в качестве восстановителей были выбраны 2 природных вещества: полисахарид альгинат натрия и моносахарид глюкоза, традиционно используемые в красильно-отделочных процессах. В первой части работы получали НЧА<sub>g</sub> по следующей схеме: из сухой субстанции альгината натрия готовили 6,0%-ный гидрогель путем перемешивания и набухания в дистиллированной воде в течение 18 ч при  $t$  35...40°C. После процеживания для создания необходимой щелочной среды в системе с целью синтеза наночастиц использовался 0,1М Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. В качестве прекурсора для синтеза НЧА<sub>g</sub> служил 0,05%-ный водный раствор нитрата серебра, вводимый в гель при перемешивании, на низкоскоростной мешалке в течение 2-х ч до наблюдаемого стабильного перехода цвета гидрогеля от светло-коричневого до темно-коричневого. Спектры синтезированных гидрозолей серебра снимали на спектрофотометре СФ-102, с контролем системы в течение 48 ч. Во второй части исследования для синтеза НЧА<sub>g</sub> использовали водный раствор нитрата серебра квалификации "ч.д.а.". Концентрация серебра в исследуемых составах варьировалась от  $0,47 \cdot 10^{-4}$  до 0,0177 моль/дм<sup>3</sup>. В качестве восстановителя применяли водный раствор

глюкозы с концентрацией от 0,0094 до 0,035 моль/дм<sup>3</sup>, который готовили путем внесения соответствующей навески в охлажденную бидистиллированную воду. Синтез наночастиц осуществляли посредством смешения раствора нитрата серебра определенной концентрации с раствором восстановителя, после чего нагревали до температуры кипения в течение 10 мин. Спектры синтезированных гидрозолей серебра снимали на спектрофотометре U-2001.

Размер полученных НЧА<sub>g</sub> определяли методом динамического рассеяния света на приборе Zetasizer NANO фирмы Malvern.

#### *Результаты и обсуждение*

Полисахарид альгинат натрия широко используется как загуститель в текстильной печати активными красителями в виде гидрогеля. Он разрешен для применения в медицине благодаря своим природным свойствам, позволяющим отнести его к пролекарствам: содержит много микроэлементов, способствует регенерации тканей, остановке кровотечений, биосовместим, антиаллергенен. Данный природный полисахарид содержится в морских водорослях рода ламинарии, имеет среднюю молекулярную массу 30...220 кДа. Применение альгината натрия как восстановителя способствует синтезу НЧА<sub>g</sub>, что позволяет осуществлять применение препарата на основе солей серебра в минимальных дозировках, нивелируя возможный токсический эффект от использования тяжелого металла, а также усиливает антибактериальный эффект готового изделия. В процессе создания текстильного изделия с нанесенной биополимерной композицией по технологии плоскошаблонной текстильной печати на основе загустителя – биополимера альгината натрия и соли серебра, вводимой в загустку, альгинат выполняет несколько функций:

- биовосстановителя, превращающего катионы металлов в атомы металлов, образующих ассоциаты наночастиц;
- коллоидного стабилизатора размера наночастиц;
- загустителя при осуществлении технологии текстильной печати.

Общую схему происходящего биосинтеза НЧА<sub>g</sub> в среде альгината натрия можно записать следующим образом:



где БВ – биовосстановитель; ОБВ – кислородный биовосстановитель.

Для выбора оптимального (желательно, минимального) количества нитрата серебра проводился эксперимент с инкубацией на культуральных средах при температуре 36°C в течение 48 ч.

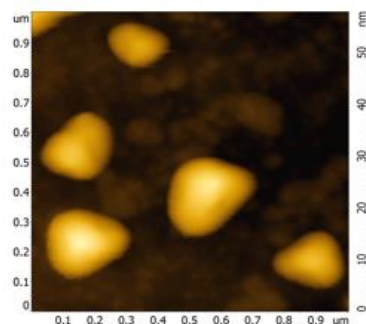


Рис. 1

На рис. 1 показано распределение наночастиц серебра в анализируемом геле альгината натрия.

Доказательством образования наночастиц в используемой для печати загущенной композиции являются результаты зондовой микроскопии. Анализ наличия наночастиц проводился на аппарате НТegra. Анализируемый гель альгината натрия, содержащий 0,05% AgNO<sub>3</sub> в среде 0,1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> наносился на поверхность свежего скола слюды. Измерение проводилось после высыхания геля. НЧА<sub>g</sub> выкристаллизовались в виде тетраэдров высотой до 60 нм.

Экспериментальное подтверждение образования НЧА<sub>g</sub> в среде альгината натрия и соответствующие значения КОЕ (колониеобразующие единицы), характеризующие антимикробные свойства разрабатываемого ТМ, показало возможность применять нитрат серебра в минимальном количестве – 0,05%. Для подтверждения активности выбранного антимикробного агента нитрата серебра был проведен анализ на референт-

ном штамме *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. Пробы инкубировали в термостате при  $t +35^{\circ}\text{C}$ . В пробирку 1 внесли анализируемую пробу с альгинатом и серебром, в пробирку 2-ТМ, в качестве контроля выступала исходная тест культура без анализируемой композиции.

Спустя 24 часа производили высевы на чашки с плотной питательной средой с дальнейшим подсчетом количества выросших колоний. Результаты представлены в табл. 1 (анализ антибактериальной активности).

Таблица 1

№ пробы	Исх. концентрация <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, КОЕ/мл	Концентрация <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213 через 24ч, КОЕ/мл
№1	$1,1 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^6$
№2 материал текстильный	$1,1 \cdot 10^8$	$2,6 \cdot 10^8$
контроль	$1,1 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^8$

Полученные данные свидетельствуют о том, что присутствие нитрата серебра в выбранной концентрации 0,05% в геле альгината натрия, нанесенном на ТМ, позволяет существенно снизить число КОЕ в экспериментальной среде со штаммом *Staphylococcus aureus*.

Для придания антибактериальных свойств ТМ также используется традиционный способ пропитки. Метод реализуем в производственных условиях на традиционном оборудовании и не требует больших затрат. В этом случае рационально использовать готовые гидрозоли НЧАг, полученные при использовании в качестве восстановителя глюкозы.

Для достижения максимально возможной степени восстановления серебра была проведена оптимизация концентрационных параметров восстановителя – глюкозы. В процессе эксперимента при постоянной концентрации нитрата серебра в растворе, составляющей 0,00118 Моль/л, варьировали концентрацию глюкозы от 0,0094 до 0,0351 Моль/л. Цвет раствора в зависимости от концентрации изменяется от прозрачного до ярко-желтого и коричневого. На рис. 2 (спектры оптического поглощения гидрозолей серебра при концентрации глюкозы: 1 – 0,0094, 2 – 0,017, 3 – 0,024, 4 – 0,035 Моль/дм<sup>3</sup>) приведены результаты спектрофотометрических исследований, из которых видно, что оптимальная концентрация глюкозы (кривая 3) составляет 0,024 Моль/дм<sup>3</sup>. В этом случае раствор имеет максимальную оптическую плотность и

светло-коричневый цвет, размер частиц серебра составляет 70...80 нм.

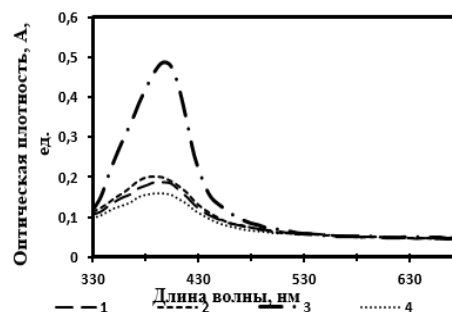


Рис. 2

Для получения устойчивых в течение длительного времени НЧ серебра с требуемыми свойствами необходимо вводить в процессе их синтеза тот или иной стабилизатор. Для стабилизации полученных гидрозолей использовали поливинилпирролидон – инертный полимер, растворимый в воде, который не оказывает вредного действия при абсорбции кожей, внутривенном вливании, не вызывает сенсibilизации ни при первичном, ни при вторичном применении, является наполнителем при изготовлении таблетированной формы лекарственных препаратов. Введение поливинилпирролидона в концентрации  $1,5 \cdot 10^{-3}$  /дм<sup>3</sup> обеспечивает стабильность гидрозолей в течение длительного периода времени, размер частиц в гидрозоле остается постоянным и составляет 90...70 нм. В случае синтеза НЧАг в альгинате натрия также был применен стабилизатор – гидроксипропилметилцеллюлоза в концентрации 2,0%.

Определение антимикробной активности пропитанных тканей проводили с использованием метода "дисков". Применялись культуры *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*. Было установлено, что текстильные материалы, обработанные по технологии плюсования, обладают повышенной антибактериальной активностью к данным бактериальным культурам.

Таким образом, представленные "зеленые" методы синтеза обеспечивают получение активных НЧА<sub>g</sub>, которые могут использоваться для придания антибактериальных свойств ТМ медицинского и профилактического назначения.

## ВЫВОДЫ

Разработан протокол синтеза НЧА<sub>g</sub> с использованием нетоксичных восстановителей, глюкозы и альгината натрия. Методами спектрофотометрии, динамического рассеяния света и электронной зондовой микроскопии показано образование НЧА<sub>g</sub> в присутствии биовосстановителей. Подобраны стабилизирующие агенты для исследуемых систем.

Определены размеры НЧА<sub>g</sub>, составляющие в зависимости от применяемого восстановителя для альгината натрия от 15...20 до 60 нм, для глюкозы 70...90 нм и подтверждена их высокая антимикробная активность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кричевский Г.Е.* Зеленые и природоподобные технологии – основа устойчивого развития цивилизации для будущих поколений. – М., 2019, Т. 2.
2. *Dastjerdi R., Montazer M.* A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties // *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. – 2010. V.79. N 1. P. 5...18.
3. *Dubas S. T., Kumlangdudsana P., Potiyaraj P.* Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2006. V.289. № 1-3. P. 105...109.
4. *Yun G. et al.* Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal-Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles // *Advanced healthcare materials*. – 2018. V. 7. № 5. P. 170...179.

5. *Perkas N., Perelshtein I., Gedanken A.* Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique // *Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji*. – 2018. V. 4. P. 15...26.

6. *Егорова Е.М., Кубатиев А.А., Швец В.И.* Биологические эффекты наночастиц металлов. – М.: Наука, 2014.

7. *Петрова Л.С., Липина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И.* Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2018, №6. С. 81...85.

8. *Дмитриева А. Д., Кузьменко В.А., Одинцова Л.С., Одинцова О.И.* Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // *Изв. вузов. Химия и химическая технология*. – 2015. Т. 58. №. 8. С.67...70

9. *Park Y., Hong Y.N., Weyers A. et al.* Polysaccharides and phytochemicals: a natural reservoir for the green synthesis of gold and silver nanoparticles // *IET Nanobiotechnol*. – 2011. V. 5. № 3. P. 69...78.

10. *Rafique M., Sadaf I., Rafique M.S. et al.* A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications // *Artif. Cells, Nanomed. Biotechnol*. – 2017, V45. №7. P.1272...1291.

11. *Balavandy S.K., Shameli K., Abidin Z.Z.* Rapid and Green Synthesis of Silver Nanoparticles via Sodium Alginate Media // *Int. J. Electrochem. Sci*. – 2015. V. 10. P. 486...497.

12. *Zahran M.K., Ahmed H.B., El-Rafie M.H.* Alginate mediate for synthesis controllable sized AgNPs // *Carbohydrate Polymers*. – 2014, V. 111. P. 10...17.

13. *Lomeli-Marroquin D., Cruz D. Medina, Nieto-Argüello A. et al.* Starch mediated synthesis of mono- and bimetallic silver/gold nanoparticles as antimicrobial and anticancer agents // *Int. J. Nanomedicine*. – 2019. V.14. P. 2171...2190

14. *Santos S.A., Pinto R.J., Rocha S.M. et al.* Unveiling the chemistry behind the green synthesis of metal nanoparticle // *ChemSusChem*. – 2014. V.7. № 9. P.2704...2711

15. *Bhagyaraj S., Krupa I.* Alginate-Mediated Synthesis of Hetero-Shaped Silver Nanoparticles and Their Hydrogen Peroxide Sensing Ability // *Molecules*. – 2020. V. 25. P. 435...444.

16. *Быркина Т.С., Гафурова Д.Р., Олтаржевская Н.Д., Кричевский Г.Е.* Исследование возможности снижения микробной обсемененности композиции на основе альгината натрия // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2017, №1. С.341...345.

## REFERENCES

1. *Krichevsky G.E.* Green and natural technologies - the basis of sustainable development of civilization for future generations. – Moscow, 2019, Vol. 2.
2. *Dastjerdi R., Montazer M.* A review on the application of inorganic nano-structured materials in the

modification of textiles: focus on anti-microbial properties // *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. – 2010. V. 79. N 1. P. 5...18.

3. *Dubas S. T., Kumlangdudsana P., Potiyaraj P.* Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2006. V. 289. N 1-3. P. 105...109.

4. *Yun G. et al.* Synthesis of Metal Nanoparticles in Metal-Phenolic Networks: Catalytic and Antimicrobial Applications of Coated Textiles // *Advanced healthcare materials*. – 2018. V. 7. N 5. P. 170...179.

5. *Perkas N., Perelshtein I., Gedanken A.* Coating textiles with antibacterial nanoparticles using the sonochemical technique // *Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji*. – 2018. V. 4. P. 15...26.

6. *Egorova E.M., Kubatiev A.A., Shvets V.I.* Biological effects of nano-particles of metals // *M.: Nauka*, 2014.

7. *Petrova L.S., Lipina A.A., Zaitseva A.O., Odintsova O.I.* The use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, №6. P. 81...85.

8. *Dmitrieva A. D., Kuzmenko V. A., Odintsova L. S., Odintsova O. I.* Synthesis and use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Chemistry and chemical technology*. – 2015, №. 8. P.67...70

9. *Park Y., Hong Y.N., Weyers A. et al.* Polysaccharides and phytochemicals: a natural reservoir for the green synthesis of gold and silver nanoparticles // *IET Nanobiotechnol*. – 2011. V. 5.N 3. P. 69...78.

10. *Rafique M., Sadaf I., Rafique M.S. et al.* A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications // *Artif. Cells, Nanomed. Biotechnol*. – 2017. V45. N7. P.1272...1291.

11. *Balavandy S.K., Shameli K., Abidin Z.Z.* Rapid and Green Synthesis of Silver Nanoparticles via Sodium Alginate Media // *Int. J. Electrochem. Sci*. – 2015. V. 10. P. 486...497.

12. *Zahran M.K., Ahmed H.B., El-Rafie M.H.* Alginate mediate for synthesis controllable sized AgNPs // *Carbohydrate Polymers*. – 2014. V. 111. P. 10...17.

13. *Lomeli-Marroquín D., Cruz D. Medina, Nieto-Argüello A. et al.* Starch mediated synthesis of mono- and bimetallic silver/gold nanoparticles as antimicrobial and anticancer agents // *Int. J. Nanomedicine*. – 2019. V.14. P. 2171...2190

14. *Santos S.A., Pinto R.J., Rocha S.M. et al.* Unveiling the chemistry behind the green synthesis of metal nanoparticle // *ChemSusChem*. – 2014. V.7. N 9. P.2704...2711

15. *Bhagyaraj S., Krupa I.* Alginate-Mediated Synthesis of Hetero-Shaped Silver Nanoparticles and Their Hydrogen Peroxide Sensing Ability // *Molecules*. 2020. V. 25. P. 435...444.

16. *Byrkina T.S., Gafurova D.R., Oltarzhevskaya N.D., Krichevsky G.E.* Investigation of the possibility of reducing microbial contamination of a composition based on sodium alginate // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2017, №. 367. P.341...345.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 14.11.22

УДК 685.34.02

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_130

**ПЛОСКОШОВНЫЕ НИТОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ  
– РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ  
ЗАГОТОВКИ ВЕРХА ВОЙЛОЧНОЙ ОБУВИ**

**FLAT-SEAM THREAD JOINTS  
– STRENGTH PROPERTIES PROBLEM SOLUTION  
OF FELT SHOE TOP BLANK**

*И.Н. ЛЕДЕНЕВА, Е.В. ЛИТВИН, В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ, Л.Р. СНИЦАР*

*I.N. LEDENEVA, E.V. LITVIN, V.S. BELGORODSKY, L.R. SNITSAR*

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

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

E-mail: ledeneva-in@rguk.ru; litvin-ev@rguk.ru; snitsar-lr@rguk.ru

*В статье осуществлен поиск решений актуальной задачи – повышения прочности ниточных швов обуви с верхом из войлока. Предложено использовать для сборки заготовки верха обуви из войлока плоский шов, который применяется для сборки одежды из натуральной кожи и меховой овчины. Рассмотрены технологические особенности плоского ниточного шва и возможности его применения для скрепления деталей верха обуви из войлока. С использованием стандартных методов проанализировано влияние параметров образования ниточного соединения на его деформационно-прочностные характеристики. Выявлены зависимости деформационно-прочностных показателей ниточного соединения от характеристик шва. Показано, что для ниточного соединения деталей верха обуви из войлока плоский шов использовать возможно, так как он по результатам проведенных исследований отвечает требованиям, предъявляемым к ниточным соединениям для обуви.*

*The article carried out a search for solutions to the urgent problem - increasing the strength of the thread seams of shoes with felt uppers. It is proposed to use a flat seam for assembling the work piece of felt uppers, which is used for assembling clothes made of genuine leather and fur sheepskin. The technological features of a flat thread seam and the possibility of its use for fastening the details of the top of shoes made of felt are considered. Using standard methods, the influence of the formation parameters of a thread joint on its deformation and strength characteristics is analyzed. The dependences of the deformation-strength parameters of the thread*

*connection on the characteristics of the seam are revealed. It is shown that it is possible to use a flat seam for the thread connection of felt shoe upper parts, since, according to the results of the studies, it meets the requirements for thread connections for shoes.*

**Ключевые слова:** войлок, нитки, ниточное соединение, плоский шов, прочность, удлинение, войлочная обувь, деформационно-прочностные свойства швов.

**Keywords:** felt, threads, thread connection, flat seam, strength, elongation, felt shoes, deformation and strength properties of seams.

### *Введение*

Войлок с древних времен применяют для изготовления разных изделий. Благодаря своим высоким теплозащитным и гигиеническим свойствам этот материал получил широкое распространение в обувной промышленности. Его используют не только для производства традиционной русской зимней обуви бытового, но и для обуви специального назначения [1].

Обувь из войлока должна сохранять все физико-механические свойства этого уникального материала из натуральной овечьей шерсти, но в то же время отвечать эстетическим и эксплуатационным требованиям. Одним из условий обеспечения потребителей красивой и комфортной обувью является ее изготовление с использованием материалов требуемого уровня качества [2], [3]. На качество обуви большое влияние оказывает качество соединения деталей верха. Наибольшее распространение получило ниточное соединение деталей. Процесс производства заготовки верха обуви ниточным способом известен давно, и сейчас он остается основным способом соединения деталей обуви [4]. Наряду с очевидными достоинствами, данный способ имеет ряд недостатков, которые особенно заметны, если войлочная обувь изготавливается по технологии изготовления кожаной обуви. Анализ информации о ниточных соединениях деталей войлочной обуви показал, что в местах сострачивания деталей верха обуви прочность материала снижается. Кроме того, расчеты показали, что теплозащитные свойства ухудшаются на 50% [1].

В связи с этим актуальным представляются исследования конструкций швов,

скрепляющих детали верха обуви из войлока. Интересна идея исследовать свойства плоского шва, который с успехом применяется в швейной промышленности для изготовления пальто из меховой овчины или для пошива трикотажных изделий. Технология получения плоского шва позволяет избежать утолщения, что особенно актуально для деталей из войлока. Нами были проведены исследования плоскошовных соединений деталей верха обуви из войлока. Основа плоского шва – двухниточный цепной стежок. К достоинствам данных типов стежков можно отнести не только их эластичность, растяжимость, но и прочность. Стежки формируются двумя или тремя иглами и одним петлителем. В этом случае получается плоский шов без верхней перекрывающей нити. Если использовать раскладчик, можно получить плоский шов с перекрывающей нитью.

На основании вышесказанного целью данной работы является изучение деформационно-прочностных характеристик плоскошовных ниточных соединений деталей верха обуви из листового войлока, позволяющих решить проблему прочности ниточных соединений при сборке заготовки верха обуви.

### *Методы*

Анализ технологии обуви и последующих условий ее эксплуатации показывает, что максимальные разрушающие напряжения в ниточных швах возникают в процессе формования (затяжки) заготовки верха обуви и фиксации ее формы на колодке.

Показателями качества ниточного соединения принято считать: эластичность, прочность, износостойкость и внешний

вид. Первостепенными показателями являются разрывная прочность швов вдоль и поперек строчки. Однако ни одно из них не служит прямым критерием оценки качества шва. Швы разрушаются значительно раньше материала либо при сильной, либо при слабой утяжке ниток в стежке [5]. При сильной утяжке стежка разрушение шва происходит от перенапряжения ниток и их внутреннего трения, при слабой утяжке на линии шва появляются узелки переплетения ниток.

Основное требование к швам – необходимость сохранить плотное прижатие материалов друг к другу в процессе носки, тем самым увеличивая теплозащитные свойства. Прочность ниточного соединения определяется свойствами войлока и ниток, технологическими и механическими параметрами, режимами стачивания [5].

Анализ технологии изготовления обуви из войлока показал, что для сборки заготовки верха применяются швы: настрочные одно- и двухрядные, тачной и тачной с расстрочкой. В предыдущих исследованиях производилась оценка влияния на прочность ниточных швов не только технологических параметров сострачивания деталей верха обуви из войлока, но и структуры материала. Результаты этих исследований показали, что войлок является анизотропным материалом, поведение которого трудно предсказуемо [6]. В связи с этим логично выдвинуть гипотезу о влиянии состава войлока на деформационно-прочностные свойства ниточных соединений. В проведенных ранее исследованиях оценивали влияние на прочность ниточных швов не только технологических параметров сострачивания деталей верха обуви из войлока, но и структуры материала [7].

Анализ претензий потребителей к качеству обуви с верхом из войлока позволяет особо выделить ухудшение теплозащитных свойств обуви в области ниточных швов и определяет необходимость поиска путей решения этой проблемы [8]. В процессе исследований нами предложено применить для сборки заготовки верха обуви плоский шов (рис. 1 – внешний вид плоского шва и его разновидности: а) – плоский шов, обра-

зованный четырьмя иглами; б) – плоский шов, образованный пятью иглами), который с успехом применяется для сборки одежды из натуральной кожи и меховой овчины.

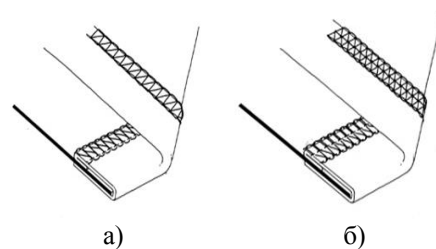


Рис. 1

Образцы войлока, сшитые армированными нитками с хлопковой оплеткой марки 44ЛХ (ГОСТ 6309-93), исследовали по стандартной методике на разрывной машине Instron 4411. Нами были исследованы 4- и 5-ти ниточные плоские швы, полученные на машине JUKI MF-7723 (Япония) с использованием тесьмы и без нее. Показатели прочности и удлинения данных видов швов зависят от частоты строчки. Учитывая волокнисто-пористую структуру материала, нами были выбраны нитки 44ЛХ и 47Л, одинаковые по плотности, но разные по составу. При испытаниях оценивали не только количественные характеристики, но и вид разрушения ниточного соединения. Известно, что о характере разрушения любого соединения можно сделать вывод о пригодности вспомогательных обувных материалов [7]. Соединение может считаться качественным, если оно разрушено по основному материалу, т.е. по войлоку или по войлоку и шву.

#### *Результаты и обсуждения*

Удлинение шва при разрушении, как и его прочность, – важные характеристики для выбора технологических нормативов сострачивания. Увеличение частоты строчки приводит к увеличению удлинения шва. Это вполне логично, так как показатель удлинения зависит не только от пластичных свойств войлока, но и от свойств нитки. Характер полученных по результатам обработки экспериментальных данных кривых (табл. 1 (деформационно-прочностные показатели плоскости шва); рис. 2 –



влияние частоты строчки  $n$  на прочность  $P$  плоского шва: 1 – 4-ниточный плоский шов; 2 – 4-ниточный плоский шов с тесьмой; 3 – 5-ниточный плоский шов; 4 – 5-ниточный плоский шов с тесьмой и рис. 3 – влияние частоты строчки  $n$  на удлинение  $L$  плоского шва: 1 – 4-х ниточный плоский шов; 2 – 4-ниточный плоский шов с тесьмой; 3 – 5-ниточный плоский шов; 4 – 5-ниточный плоский шов с тесьмой) аналогичен зависимостям разрушения ниточных соеди-

нений деталей верха из натуральной кожи, что доказывает возможность применения войлока для верха обуви, изготавливаемой по традиционной технологии с применением обтяжно-затяжного метода формования заготовок верха на колодках. Значения показателя прочности при разрыве шва практически такие же, как и при разрушении образца войлока. Это свидетельствует о пригодности применяемых ниток для соединения образцов из войлока.

Т а б л и ц а 1

Количество нитей в шве	Наличие тесьмы	Частота строчки $n$ , ст./см	Прочность шва $P$ , кН	Удлинение при разрыве $L$ , мм
4	-	3	0,53	45
		4	0,45	45
		5	0,70	46
		6	0,54	41
	+	3	0,78	38
		4	0,90	36
		5	0,89	43
		6	1,26	40
5	-	3	0,51	28
		4	0,45	33
		5	0,46	31
		6	0,48	28
	+	3	0,43	28
		4	0,44	30
		5	0,49	26
		6	0,53	28

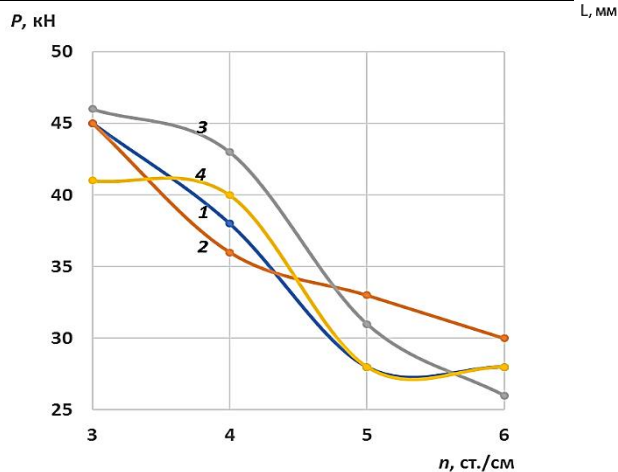


Рис. 2

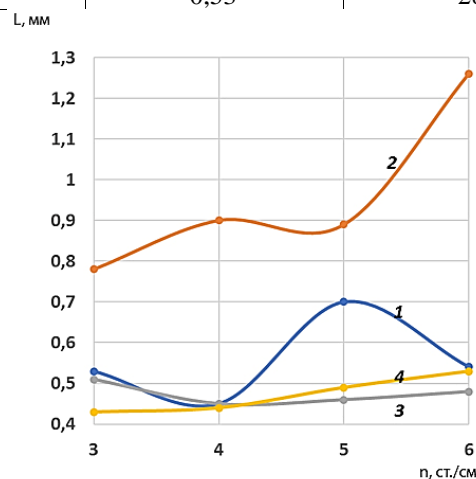


Рис. 3

Технологические особенности получения плоского шва помогают избежать утолщения материала в области наложения деталей, добиваясь плотного и герметичного ниточного соединения. Использование дополнительного швейного оборудования несколько усложняет производственный про-

цесс, так как требует дополнительного вложения материальных средств и временных затрат на подготовительный этап. Однако использование плоского шва позволяет добиться улучшения деформационно-прочностных свойств и повышает комфортность обуви при динамических нагрузках.

Хлопколавсановые армированные нитки по прочности, удлинению и стойкости к истиранию превосходят хлопчатобумажные, поэтому их использование более предпочтительно в ответственных участках заготовки верха обуви. Приемлемые физико-механические свойства: биостойкость и хе-мостойкость, малоусадочность при влажно-тепловой обработке, высокая эластичность и формоустойчивость, а также устойчивость к воздействию ультрафиолетового излучения – обеспечивают хорошие эксплуатационные свойства у выбранных ниток, подвергаемых воздействию агрессивных сред в процессе эксплуатации обуви.

Для получения образцов проб вручную вырубали при помощи резаков полоски размером 50x100 мм в поперечном направлении к основной ориентации волокон войлока. Образцы, вырубленные в соответствующем направлении, соединялись точным и тачным швом с расстрочкой, настрочным однорядным, настрочным двурядным и переметочным швами при частоте строчки 3, 4, 5, 6 ст./см с расстоянием от края 0,6 мм и расстоянием между двумя строчками 2 мм, используя нитки 45ЛХ и 47 Л. При соединении деталей из войлока изменялись технологические параметры для регулировки выбора оптимальных значений, в соответствии с результатами проведенных ранее исследований, посвященных качеству ниточных соединений.

Для укрепления швов части образцов использовалась лента саржевая хлопчатобумажная суровая для обувной промышленности (ТУ 17-09-325-90), которая предназначена для укрепления канта кожаной и отдельных видов текстильной обуви с подкладкой из кожи.

Прочность ниточного соединения возрастает с увеличением количества петель, образованных в шве верхней и нижней нитками. Действующие на шов напряжения, возникающие во время эксплуатации обуви, распределяются на стежки и чем их больше, тем меньшее удельное напряжение приходится на петлю. Такой шов может выдерживать большие напряжения. Когда частота строчки увеличивается, прочность соединения растет, но через некоторое время

достигает максимального значения, при дальнейшем повышении частоты строчки прочность резко снижается. Оптимальная частота строчки является равнодействующей двух противоположных воздействий. С одной стороны, большая частота строчки – это одновременно большее число петель, образованных верхней и нижней нитками, на которые действуют разные силы и напряжения. Их значения постепенно уменьшаются. С другой стороны, увеличение частоты строчки уменьшает прочность материала в результате повреждения его внутренней структуры.

По результатам испытаний проведена статистическая обработка экспериментальных данных выборки малого объема, поскольку объем выборки не превышал десяти. В качестве оценки для среднеквадратичного отклонения применили величину:

$$S=K_R R,$$

где  $R=x_{\max}-x_{\min}$  – размах варьирования;  $K_R$  – коэффициент, значение которого выбирали из таблицы, определенной методикой статистической обработки в соответствии со значением 10.

По полученным данным размах варьирования значений для швов, не укрепленных тесьмой, составил  $R=0,06\dots 0,17$ , а для швов, укрепленных тесьмой,  $R=0,06\dots 0,48$ . Определили среднеквадратичное отклонение для разрывной нагрузки и разрывного удлинения, чтобы найти границы доверительного интервала. Статистическая обработка позволила избежать дополнительной ошибки эксперимента, за счет устранения не доверительных значений. Большинство значений вошли в интервал доверия. Следовательно, полученные значения можно считать достоверными.

## ВЫВОДЫ

Проведя анализ полученных зависимостей и сравнив деформационно-прочностные показатели различных видов швов, очевидно, что для ниточного соединения деталей верха обуви из войлока можно использовать плоский шов, так как его свой-

ства отвечают требованиям, предъявляемым к ниточным соединениям для обуви. В ходе предыдущих исследования было выявлено, что предпочтительнее использовать 4-ниточный плоский шов с частотой строчки 6 ст/см. Это связано с тем, что при данных параметрах были получены наивысшие показатели прочности и величины удлинения, что применимо для технологии изготовления обуви, т.к. на стадии затяжки заготовки верха обуви на колодке ниточные соединения подвергаются сильному натяжению и нагрузке. При варьировании частоты строчки прочность и удлинение увеличиваются. Показатели прочности плоского шва лежат в диапазоне от 0,3 до 0,6 кН. Показатели удлинения лежат в диапазоне от 28 до 65 мм. Наличие тесьмы незначительно, но, тем не менее, влияет на прочность и удлинение плоского шва, поэтому использование тесьмы можно выбирать, руководствуясь технологическими параметрами сборки заготовки верха обуви, а также с учетом возможного повышения теплозащитных свойств готовой обуви. Количество нитей, образующих плоский шов, существенно не влияет на его прочность и удлинение, поэтому в зависимости от эстетических требований и технологических возможностей возможно выбирать любой шов: 4-ниточный или 5-ниточный – в зависимости от модели изготавливаемой обуви. Все эти факторы должны быть приняты во внимание и учтены при конструктивной разработке моделей обуви с верхом из войлока и последующем их внедрении в производство. По результатам выполненных испытаний получен патент на изобретение [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леденева И.Н. Обувь из материалов с хаотичной структурой: перспективы улучшения эргономических характеристик // Сб. научн. тр. Междунар. Косыгинский форум – 2019, межд. научн.-техн. симпозиум: Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления. Ч. 1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2019. С.87...93.
2. Wade Motawi. How Shoes are Made. A Behind the Scenes Look at a Real Sneaker Factory, Wade's Place. – 2017. P. 218.
3. Wade Motawi. Shoe Material Design Guide. The Shoe Designers Complete Guide to Selecting and Specifying Footwear Materials. Wade's Place. – 2018. P.200.

4. Becky Goldsmith. The Ultimate Thread Guide. Everything You Need to Know to Choose the Perfect Thread for Every Project. C&T Publishing Inc. – 2019. P. 64.

5. Крашенинникова К.О., Леденева И.Н. О классификации факторов, влияющих на качество ниточных соединений // Кожевенно-обувная промышленность. – 2008, № 2. С.48...49.

6. Леденева И. Н., Рыбакова О. Н., Рыков С. П., Жихарев А. П. Исследование механических свойств войлока как материала для верха обуви // Кожевенно-обувная промышленность. – 2008, № 1. С.36...37.

7. Леденев М. О., Леденева И. Н. Влияние технологии сборки заготовки обуви из войлока на качество ниточных швов // Дизайн и технологии. – 2011, № 23. С.24...31.

8. Леденева И.Н., Калугина И.А. Способ получения ниточных соединений деталей из войлока. Патент на изобретение № 2546512. Бюл. № 10 от 10.04.2015.

#### REFERENCES

1. Ledeneva I.N. Footwear made of materials with chaotic structure: prospects for improving ergonomic characteristics. Moscow, A.N. Kosygin Russian State University, International Kosygin Forum - 2019, international scientific and technical symposium "Modern engineering problems in the production of consumer goods", collection of scientific papers. – P. 1. 2019. P.87...93
2. Wade Motawi. How Shoes are Made. A Behind the Scenes Look at a Real Sneaker Factory, Wade's Place. – 2017. P. 218
3. Wade Motawi Shoe Material Design Guide. The Shoe Designers Complete Guide to Selecting and Specifying Footwear Materials. Wade's Place. – 2018. P. 200
4. Becky Goldsmith. The Ultimate Thread Guide. Everything You Need to Know to Choose the Perfect Thread for Every Project. C&T Publishing Inc. – 2019. P. 64.
5. Krashenninnikova K. O., Ledeneva I. N. On the classification of factors affecting the quality of thread connections // Leather and Shoes Industry. – 2008, № 2. P.48...49.
6. Ledeneva I. N., Rybakova O. N., Rykov S. P., Zhikharev A. P. Study of mechanical properties of felt as a material for footwear upper // Leather and Footwear Industry. – 2008, № 1. P.36...37.
7. Ledenev M. O., Ledeneva I. N., The influence of the assembly technology of felt shoes blanks on the quality of thread seams // Design and Technology. – 2011, № 23. P.24...31.
8. Ledeneva I.N., Kalugina I.A. Method of obtaining thread connections of felt parts. Patent for invention № 2546512. Bulletin No. 10 of 10.04.2015.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи. Поступила 11.10.22.

**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ОДЕЖДЫ  
ДЛЯ ДЕТЕЙ С БУЛЛЕЗНЫМ ЭПИДЕРМОЛИЗОМ**

**TRENDS OF CLOTHES DESIGN  
FOR CHILDREN WITH EPIDERMOLYSIS BULLOSA**

*А.В. ГОЛУБЧИКОВА, С.И. ПИВКИНА, О.С. ЕГОРЕНКОВА, С.Б. ЛАЗУРЕНКО*

*A.V. GOLUBCHIKOVA, S.I. PIVKINA, O.S. EGORENKOVA, S.B. LASURENKO*

(Институт коррекционной педагогики Российской академии образования,  
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей,  
Российская академия образования)

(Institute of Special Education of the Russian Academy of Education,  
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),  
National Medical Research Center for Children's Health,  
The Russian Academy of Education)

E-mail: golubchikova@ikp.email

*В статье описаны особенности течения заболевания и его проявлений, которые оказывают влияние на ассортимент одежды и ее сырьевой состав. Определено, что виды и объем специальных текстильных изделий, необходимых ребенку, зависят от локализации и степени поражения поверхности тела. Предложена группировка детей с учетом их потребности в специальных текстильных изделиях. Для каждой группы детей даны рекомендации по ассортименту одежды, аксессуаров и предметов одежды. Предложен определенный дизайн для некоторых изделий. Изложены основные рекомендации к выпуску трикотажных изделий медицинского назначения с учетом особенностей описываемого заболевания. Установлен допустимый сырьевой состав для производства специализированных изделий. Даны рекомендации по выбору технологии выработки основных участков перчатки. Даны рекомендации по выбору технологии выработки основных участков носка. Предложена схема выработки носка бесшовным способом.*

*The article describes the features of the course of the disease and its manifestations, which affect the range of clothing and its raw material composition. It is determined that the types and volume of special textiles needed by a child depend on the localization and degree of damage to the surface of the body. A grouping of children is proposed, taking into account their need for special textiles. Recommendations on the range of clothing, accessories and clothing items are given for each group of children. A specific design is proposed for some products. The main recommendations for the production of medical knitwear are presented, taking into account the characteristics of the described disease. The permissible raw material composition for the production of specialized products has been established. Recommendations on the choice for the production technology of the glove main sections are given. Recommendations on the choice of technology for the designing of the sock main sections are given. A scheme for designing a sock in a seamless way is proposed.*

**Ключевые слова:** дети с буллезным эпидермолизом, текстильные изделия, трикотажные переплетения, сырьевой состав.

**Keywords: children with epidermolysis bullosa, textiles, knitted weaves, raw material composition.**

Буллезный эпидермолиз (БЭ) – большая группа редких наследственных генетических заболеваний кожи, характеризующаяся склонностью кожи и слизистых оболочек к образованию пузырей, преимущественно на местах незначительного механического воздействия [1].

Распространенность данного заболевания невысока, составляет в среднем 50 на 1 млн. новорожденных (по данным Национального регистра больных буллезным эпидермолизом США) [2], однако тяжесть проявления болезни, влекущая за собой изменения всего привычного образа жизни и оказывающая негативное влияние на психическое развитие больного ребенка, обуславливает важность междисциплинарного подхода к оказанию помощи.

Для болезни характерно начало с первых дней или месяцев жизни, непрерывное течение с периодическими обострениями, поэтому негативному воздействию болезни ребенок с БЭ подвергается с момента рождения, что резко ограничивает взаимодействие со средой, препятствует накоплению практического опыта и формированию позитивного самоощущения. Одной из целей комплексной помощи ребенку с БЭ является создание условий для снижения степени негативного влияния болезни на психическое состояние ребенка, профилактики трудностей взаимоотношения ребенка с внешним миром и возникновения эмоциональных нарушений. Для профессиональной реализации реабилитационных задач проблемой буллезного эпидермолиза важно заниматься как специалистам сферы здравоохранения, так и специалистам психолого-педагогического профиля, и профессионалам в области текстильной и легкой промышленности.

Поскольку самым распространенным клиническим проявлением БЭ является появление пузырей и эрозий на коже и слизистых оболочках, кератоз ладоней и подошв, основные лечебные мероприятия направлены на предотвращение травматизации

кожных покровов больного ребенка и профилактики появления новых пузырей. Здесь важной задачей является правильный подбор перевязочных средств, одежды и обуви. Специалисты рекомендуют отказаться от одежды и белья из грубых, давящих и травмирующих тканей, при пошиве одежды воздержаться от использования резинок и тесемок, желательно выполнять наружное расположение швов. При тяжело протекающих формах заболевания часты проявления контрактур, псевдосиндактилий и отсутствие ногтей, что делает ношение перчаток необходимым.

Для данной категории детей практически нет специально разработанной одежды. В нашей стране в продаже имеются только изделия компании DermaSilk, выполненные из фиброина чистого шелка с усиленной антибактериальной формулой [3]. Ассортимент одежды представлен пижамами, боди, ползунками, перчатками, носками, тубами на конечности, т.е. непосредственно контактирующими с телом ребенка. Все изделия выполнены в белом цвете. Однако в виду специфичности сырьевого состава данная одежда достаточно дорогая. В направлении использования фиброина шелка была разработана технология получения материалов с антимикробными свойствами [4]. Для этого на хлопчатобумажную основу наносится белково-масляная смесь, состоящая из фиброина шелка и натуральных масел гвоздики и эвкалипта. Данная технология получения текстильных материалов с заданными профилактическими свойствами может быть использована в рассматриваемом аспекте.

Российские ученые проводили исследования в области проектирования одежды, контактирующей с поврежденной кожей. Некоторые рекомендации могут быть использованы при проектировании изделий для детей с буллезным эпидермолизом. Например, Харловой О.Н. разработаны методологические основы проектирования и формирования качества больничной

одежды различного ассортимента [5]. Автором в рамках исследования изучены условия течения различных заболеваний и условий эксплуатации одежды, в том числе для больных сахарным диабетом. При этом заболевании возможно травмирование кожи и образование язв. Для решения этой задачи предложено изготавливать изделия из мягких материалов и располагать швы с лицевой стороны изделия.

Как отмечалось выше, зачастую под одеждой находится плотный слой перевязочного материала. Данная особенность может способствовать накоплению дополнительного тепла, что может привести к ухудшению заживления ран. Аналогичная проблема наблюдается у пациентов с ожоговыми травмами, решению которой посвящено исследование авторов [6].

У детей, в зависимости от возраста, наблюдается разное отношение к одежде и ее носке. Дети младшего возраста еще не понимают всей важности правильного ассортимента одежды и особенностей ее применения. Они ощущают дискомфорт от прикосновения ткани к пораженной коже, могут протестовать, капризничать, даже самостоятельно избавиться от перевязочных средств и специальной одежды. Поэтому процесс соприкосновения изделия с телом больного ребенка должен быть максимально комфортным, неощущаемым для него. Это позволит сохранить стабильное эмоциональное состояние, при этом малыш сможет активно изучать и взаимодействовать с окружающей средой, его познавательная активность будет удовлетворяться.

Подростки с БЭ – психологически крайне уязвимы. Им характерно негативное восприятие себя и своего тела, что приводит к снижению самооценки и коммуникативной потребности, сужению круга общения. Для этой группы больных важен эстетичный вид изделия. Одежда для подростков – это предмет самовыражения, непременный атрибут определения принадлежности к группам свой – чужой. При скрытии обычно открытых участков тела (например, перчатки) можно использовать два варианта "маскировки" кожи: первое – цвет материала должен быть приближен к естест-

венному цвету кожи, не привлекать внимания; второе – изделие превратить в модный и стильный аксессуар с дизайном, соответствующим молодежной субкультуре. Это позволит подросткам с БЭ поддерживать позитивное самоотношение, более свободно и активно взаимодействовать со сверстниками, выстраивать коммуникативные связи, более оптимистично смотреть на будущее.

В ФГАУ "Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей" проводятся исследования, направленные на проектирование одежды и аксессуаров для детей с БЭ [7]. В результате изучения физического состояния детей и их жизнедеятельности они были объединены в четыре группы с учетом их потребности в специальных текстильных изделиях.

Группа 1. "Эпизодическая потребность в специальных текстильных изделиях". Дети имеют небольшие поражения кожи, в основном на конечностях, которые эпизодически необходимо перевязывать в момент обострения заболевания. Пациенты нуждаются в специальных изделиях только в период перевязок, в основном необходимы перчатки, могут носить обычную одежду.

Группа 2. "Периодическая потребность в специальных текстильных изделиях". Локализация ран в основном на верхних конечностях, шеи и груди, которые частично покрыты перевязочным материалом (рис. 1-а – ребенок из группы 2). Детям тяжело действовать с предметами, где необходима сила, т.к. возможны повреждения кожи. Они нуждаются в ежедневном наложении повязок (1 раз в день, длительность 40 минут). Необходим эстетичный вид перевязочного материала (например, телесный цвет), а также аксессуаров. Так как одежда неплотно прилегает к телу, то она своим движением может раздражать кожу и стимулировать ребенка к ее расчесыванию. Поэтому рекомендовано использование первого слоя одежды с наружным расположением швов.

Группа 3. "Регулярная потребность в специальных текстильных изделиях". Дети имеют поражения на всем теле, нижних и верхних конечностях, межпальцевое сра-

щение (рис. 1-б – ребенок из группы 3). Открытые раны забинтовываются (наложение повязок осуществляется 2 раз в день, длительность до 1 часа). Дети жалуются на дискомфорт при ношении обычной одежды. Выявлена потребность в специальных изделиях на стопы, перчатках, эстетичном виде перевязочного материала, эргономичной одежде из комфортного материала и наружным расположением швов.

Группа 4. "Постоянная выраженная потребность в специальных текстильных из-

делиях". У детей помимо перечисленных выше проблем возможны контрактуры, деформация кистей по типу "варежки", раны на волосистой части головы (рис. 1-в – ребенок из группы 3). Дети нуждаются в ежедневном наложении повязок на все поверхности тела в несколько слоев (2 раза в день, процедура занимает 1,5 часа и более), максимальном комфорте перевязочного материала. Дополнительно к рассмотренным выше видам изделий иногда требуются специальные "варежки" и носки.



а)

б)

в)

Рис. 1

Для удовлетворения специфических потребностей детей с БЭ можно рекомендовать к использованию некоторые виды аксессуаров и предметов одежды, которые должны иметь определенный дизайн и сырьевой состав.



а)

б)

Рис. 2

В качестве "маскирующего" аксессуара можно использовать "рукав", выполненный в телесном цвете (рис. 2-а) [8]. Он может быть разной длины и покрывать как небольшой участок конечности, так и всю руку. Его можно применять как в готовом виде, так и с нанесением изображения с помощью цифровой, шелкотрафаретной или

другой печати, получая тем самым "тату-рукав" (рис. 2-б). Сырьевой состав: хлопковые и шелковые (вискозные) волокна; гидроцеллюлозная основа вискозы обеспечивает необходимые гигиенические свойства, повышенную гладкость и препятствует накоплению статического электричества.

Как отмечалось выше, одним из проблемных мест являются кисти рук. Особенности строения кисти требует накладывания лечебных повязок с дополнительным их забинтовыванием. В зависимости от стадии заболевания требуется "маскировка" либо забинтованных мест, либо рубцов кожи. В первом случае получается многослойное покрытие поверхности кисти, с отрицательным процессом одевания перчатки и возможным накоплением тепла. Данную проблему пробуют решить исследователи Королевского колледжа Лондона [9]. Они подбирают сырьевой состав и переплетения для разработки перевязочной перчатки, которая позволит убрать дополнительное бинтование лечебных повязок. В настоящее время исследование еще продолжается.



В процессе опроса пациентов и их родителей нами было определено, что перчатки должны быть тонкими, телесного цвета, плотно облегать руку и иметь высокую манжету (рис. 3 – перчатки, изготовленные авторами для детей с БЭ). Также целесообразно изготовление митенок, которые в ряде случаев позволят обеспечить развитие тактильной чувствительности у ребенка. На изделия также можно наносить рисунок с помощью печати.



Рис. 3

Для данной группы детей при разработке трикотажной одежды целесообразно использовать следующие рекомендации. Так, применение неполных двойных кулирных переплетений с раппортом кладки нити 1x1, 2x2 – обеспечат трикотажным изделиям повышенную растяжимость, двойные пресовые фанговые переплетения придадут объемность.

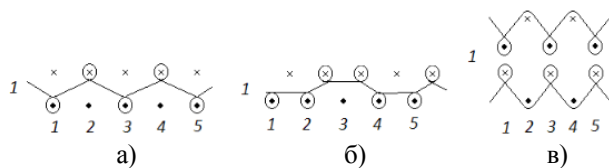


Рис. 4

На рис. 4 представлены примеры графических записей двойных кулирных переплетений с различными свойствами (а – двойное кулирное неполное переплетение ластик 1x1; б – двойное кулирное неполное переплетение ластик 2x2; в – двойное кулирное пресовое переплетение фанг). Комбинируя в изделиях участки с различными пе-

реплетениями, а также регулируя технические параметры вязального оборудования, такие как глубина кулирования, величина оттяжки, можно получить трикотажное изделие выбранной формы с определенными свойствами в заданных участках.

Наибольший интерес представляет производство цельновязанных бесшовных трикотажных изделий на базе одинарных и двойных переплетений. Подобные изделия, как правило, вырабатываются на специализированном кругловязальном оборудовании. Разработка бесшовных изделий возможна и на универсальном плосковязальном оборудовании с использованием технологии вязания 3D. Фирма Штоль (Германия) назвала такую технику вязания "knitandwear" и выпустила линейку вязального оборудования с "двойным классом", позволяющие осуществлять вязание изделий бесшовным методом [10].

Особенное место в одежде для детей с БЭ занимают носки, так как ноги подвергаются систематическому силовому воздействию со стороны внешней среды (опора при хождении). При этом возникает опасность дополнительного травмирования за счет того, что при образовании пузырей возможно срастание пальцев на ногах.

Для профилактики срастания каждый палец должен быть изолирован, т.е. вывязан отдельно. Данная технология иногда используется при производстве носков, в том числе детских [11]. Обозначенная выше проблема травмирования пяток также встречается у лежачих больных, подверженных пролежням. У них наблюдаются повреждения кожи из-за давления пятки на кровать. Для решения этого вопроса разработаны мягкие биндажи на эту часть стопы [12], которые равномерно распределяют вес тела, уменьшая тем самым давление на больную пятку. Биндаж имеет значительную толщину и мягкое внутреннее покрытие. Описанные особенности носков с пальцами и биндажа целесообразно использовать в конструкции специальных носков.

На основании проведенных нами исследований были разработаны следующие рекомендации по их конструкции (рис. 5)



Предлагаемая структура вязания носка для детей с БЭ (рис.5), предполагает выработку бесшовного изделия, с фиксированной пяткой, позволяющие обеспечить комфорт при эксплуатации изделия.

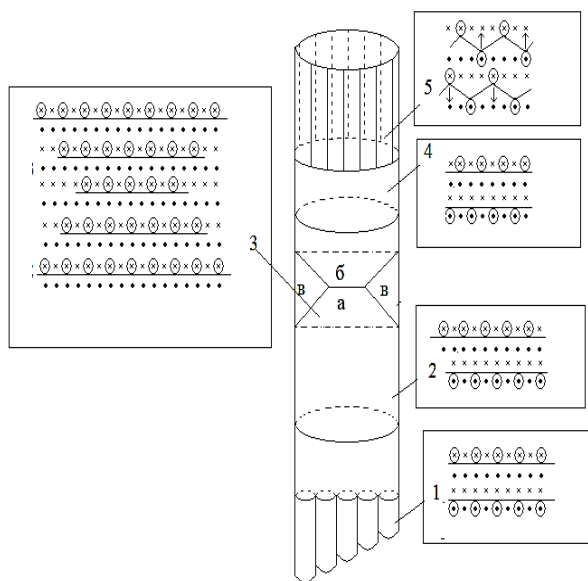


Рис. 5

На рис.5 представлена схема выработки изделия, в котором каждый палец вывязан отдельно на базе переплетения трубчатая гладь (участок 1). Как указано на схеме прокладывания нитей, на данном участке вязание выполняется не на всех иглах, что характерно для способа вязания по технологии "knitandwear", пустые иглы необходимы для возможности переноса и удержания петель при круговом вязании участков изделия, вырабатываемых на базе двойных переплетений (циклы петлепереноса на схемах не указаны). Участок 2 выполнен также при круговом вязании, представляет собой зону "подъема" стопы по передней стороне изделия и зону "следа" на оборотной стороне изделия. Зона "следа" изделия содержит участок 3, соответствующий зоне пятки.

К участку пятки (зона 3, рис.5) предъявляются определенные требования, данная зона должна быть сконструирована специальным образом, быть объемной по форме, повторять анатомическую форму ноги, обеспечить плотную посадку носка по ноге. В данном изделии пяточный объем вырабатывается классическим способом путем реверсивного хода вязальной системы вдоль

задней игольницы, при этом объемная форма обеспечена участками вязания неполных петельных рядов. Иглы на передней игольницы не участвуют в вязании и удерживают петли ранее образованного ряда. На рис. 5 показан участок пяточного объема, где: участок а – вязание неполных петельных рядов с уменьшением числа работающих игл; б – участок вязания неполных петельных рядов с постепенным увеличением числа работающих игл; в – участки выстоя игл с образованием вытянутых петель, стягивающих зону пятки при формировании объема изделия.

Участок 4 (рис.5) – соответствует зоне паголенка. Количество рядов в данной зоне формирует общую длину изделия, может вырабатываться как классический носок, так и гольф и носок спортивного типа с укороченной зоной паголенка. Как представлено на рис.5 – данный участок может быть выработан переплетением трубчатая гладь.

Участок 5 – зона резинки изделия, выполнена с использованием неполных двойных кулирных переплетений, например, ластик 1x1, что обеспечивает свободный, без сдавливания, контакт со щиколоткой, при этом исключает "сползание" носка по ноге.

Экспериментальная выработка изделия проводилась на плосковязальном оборудовании фирмы Штоль (Германия), модель НР 530 класс 5:2. Для промышленной выработки изделия рекомендуется более высокий класс вязального оборудования.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе реабилитации детей с буллезным эпидермолизом особое значение имеют правильный уход, использование перевязочных материалов и специальных текстильных изделий.

2. Специфика физического и психического состояния детей с БЭ требует проведения научных исследований в области дизайна и ассортимента одежды и аксессуаров, видов и сочетаний трикотажных переплетений, сырьевого состава материалов для разных групп изделий.

3. Виды и объем специальных текстильных изделий, необходимых ребенку,

зависят от локализации и степени поражения поверхности тела. В результате изучения физического состояния детей и их жизнедеятельности они были объединены в четыре группы с учетом их потребности в специальных текстильных изделиях.

4. Для удовлетворения специфических потребностей детей с БЭ рекомендуются к использованию некоторые виды аксессуаров и предметов одежды, которые должны иметь определенный дизайн и сырьевой состав.

5. На основании проведенных исследований были разработаны рекомендации по конструкции специальных носков, выработанных бесшовным способом с фиксированной пяткой, позволяющие обеспечить комфорт при эксплуатации изделия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Мурашкин Н.Н., Епишев Р.В., Амбарчян Э.Т. Федеральные клинические рекомендации по оказанию медицинской помощи детям с врожденным буллезным эпидермолизом. – Министерство здравоохранения РФ. Союз педиатров России, 2015.

2. Буллезный эпидермолиз / Под ред. Дж.-Д. Файна и Х. Хинтера. / пер. с англ. под ред. Ю.Ю. Коталевской. – М.: Практика, 2014.

3. Буллезный эпидермолиз [Электронный ресурс]. URL: [https://silktech.ru/desiases/d\\_bulleznyj-jepidermoliz/](https://silktech.ru/desiases/d_bulleznyj-jepidermoliz/) (дата обращения: 06.08.2022).

4. Muruges Babu K., Sahana N., Anitha D.V., Kavya B.S. Silk fibroin coated antimicrobial textile medical products // Journal of the Textile Institute. – 2020. V.112. Is.2. P.1...9.

5. Харлова О.Н. Методологические основы проектирования и формирования качества больничной одежды различного ассортимента: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2011.

6. Мезенцева Т.В., Родичкина Е.Н., Зарецкая Г.П., Феофилактова А.И., Тамбовцева Е.П., Бузулуцкова С.А. Особенности технологии изготовления специальной одежды для медицинского персонала и пациентов с ожоговыми травмами // Дизайн и технологии. – 2020, № 75. С. 36...42.

7. Golubchikova A.V., Lazurenko S.B., Korobtseva N.A., Pivkina S.I., Movshovich P.M., Razumeev K.E. Consumer and Materials-Science Characteristics of Clothes for Children with Epidermolysis Bullosa // Fibre Chemistry. – 2021. V. 52. P.371...372. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10692-021-10215-z> (дата обращения 12.05.2022).

8. Маскирующие нарукавники для татуировок [Электронный ресурс]. URL: <https://salealiexpress.ru/i/32948726441.html> (дата обращения: 24.06.2022).

9. Tanya Graham, Sangeeta Sooriah, Silvia Giampieri, Rachel Box, and Patricia Grocott. Iterative codesign and testing of a novel dressing glove for epidermolysis bullosa // Journal of Wound Care. – 2019. V. 28, №1. P. 5...14. – URL: <https://doi.org/10.12968/jowc.2019.28.1.5> (дата обращения 17.05.2022).

10. Кудрявин Л.А., Колесникова Е.Н., Заваруев В.А. Основы проектирования инновационных технологий трикотажного производства. – М.: МГУДТ, 2016.

11. Детские носки с пальцами [Электронный ресурс]. URL: <https://strelashop.ru/product/32985568125> (дата обращения: 15.07.2022).

12. Бандаж на локоть или пятку [Электронный ресурс]. URL: <https://fastbox.su/item-i8746339885> (дата обращения: 19.07.2022).

#### REFERENCES

1. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Murashkin N.N., Epishev R.V., Ambarchyan E.T. Federal clinical guidelines for the provision of medical care to children with congenital epidermolysis bullosa – Ministry of Health of the Russian Federation. Union of Pediatricians of Russia, 2015. .

2. Epidermolysis bullosa / edited by J.-D. Fain and H. Winter. / per. from the English. edited by Yu.Yu. Kovalevskaya. – М.: Praktika, 2014.

3. Epidermolysis bullosa [Electronic resource]. URL: [https://silktech.ru/desiases/d\\_bulleznyj-jepidermoliz/](https://silktech.ru/desiases/d_bulleznyj-jepidermoliz/) (date of application 06.08.2022).

4. Muruges Babu K., Sahana N., Anitha D.V., Kavya B.S. Silk fibroin coated antimicrobial textile medical products // Journal of the Textile Institute. - 2020, v.112, Is.2. - pp.1-9.

5. Kharlova O.N. Methodological foundations of designing and forming the quality of hospital clothing of various assortment: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.19.04 / Kharlova Olga Nikolaevna. – М, 2011. – 425 p.

6. Mezentseva T.V., Rodichkina E.N., Zaretskaya G.P., asp. Feofilaktova A.I., asp. Tambovtseva E.P., asp. Buzulutskova S.A. Features of the technology of manufacturing special clothing for medical personnel and patients with burn injuries // Design and technology. – 2020, No. 75. P. 36...42.

7. Golubchikova A.V., Lazurenko S.B., Korobtseva N.A., Pivkina S.I., Movshovich P.M., Razumeev K.E. Consumer and Materials-Science Characteristics of Clothes for Children with Epidermolysis Bullosa // Fibre Chemistry, – 2021. V. 52. P. 371...372. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10692-021-10215-z> (date of application 12.05.2022).

8. Masking armbands for tattoos [Electronic resource]. URL: <https://salealiexpress.ru/i/32948726441.html> (date of application 06.24.2022).

9. Tanya Graham, Sangeeta Sooriah, Silvia Giampieri, Rachel Box and Patricia Grocott. Iterative codesign and testing of a novel dressing glove for epidermolysis bullosa // Journal of Wound Care. – 2019. V.28, No. 1. P. 5...14. – URL: <https://doi.org/10.12968/jowc.2019.28.1.5> (date of application 17.05.2022).

10. Kudryavin L.A., Kolesnikova E.N., Zavaruyev V.A. Fundamentals of designing innovative knitting production technologies. – М.: MGUDT, 2016.

11. Children's socks with fingers [Electronic resource]. URL: <https://strelashop.ru/product/32985568125> (date of application 15.07.2022).

12. Bandage on the elbow or heel [Electronic resource]. URL: <https://fastbox.su/item-i8746339885> (date of application 07.19.2022).

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 10.11.22.

УДК 687

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_143

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА КОНСТРУИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ\***  
(по результатам научной школы кафедры конструирования швейных изделий)\*

**PROVIDING OF PATTERN AND ANTHROPOMETRIC ORIENTED DATABASE  
IN TERMS OF CLOTHES DESIGN**

*В.Е. КУЗЬМИЧЕВ, И.В. ЖУКОВА, Н.А. САХАРОВА*

*V.E. KUZMICHEV, I.V. ZHUKOVA, N.A. SAKHAROVA*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: wkd37@list.ru; iren932@gmail.com; natal\_77@bk.ru

*Предложена концепция совершенствования процесса проектирования одежды в виртуальной среде за счет формирования новой антропометрической базы данных двойного назначения. Новая база данных должна позволять генерировать виртуальные двойники фигур и улучшить процесс конструирования одежды с позиций достижения ее антропоморфного соответствия фигурам. Приведены новые размерные признаки для исключения появления балансовых нарушений в одежде и некачественной посадки.*

*The concept of clothes design improving in a virtual environment due to the formation of new anthropometric dual-use data is proposed. The new database should make it possible to generate virtual twins of human bodies and to improve the process of pattern making from the standpoint of achieving its anthropomorphic correspondence to bodies. New body dimensions are proposed to exclude balance problems and misfit.*

**Ключевые слова:** антропометрия, одежда, цифровизация, виртуальный двойник, конструирование.

**Keywords:** anthropometry, apparel, digitalization, virtual twin, pattern making.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта №20-47-370006 на тему "Фундаментальные основы виртуального проектирования цифровых двойников системы «фигура человека - одежда» с применением нейropsихологических технологий и реверсивной инженерии".

Переход от традиционных технологий проектирования одежды к цифровым выявил сразу несколько проблем в разных областях человеческих знаний, решение которых позволит трансформировать к новым реалиям антропометрию, текстильное материаловедение, формообразование одежды из анизотропных пространственных оболочек. Правильность формирования любых систем "человек + одежда" – материальной или виртуальной – зависит от полноты использования числовой информации обо всех составляющих ее элементах: человеческой фигуре, текстильных, отделочных и скрепляющих материалах, деталях и узлах одежды, и процессах их взаимодействия друг с другом.

Для переноса процесса проектирования и примерки одежды в виртуальную реальность необходимы их виртуальные двойники. Генерирование виртуальных двойников в индустрии моды выделено в самостоятельное научное направление ввиду огромного массива информации, получаемого путем использования специального оборудования для цифровизации материальных объектов, и сложности формализации профессиональных знаний проектировщиков [1].

Начальным элементом процесса проектирования, от полноты знаний которого будет зависеть его конечный результат, является человеческая фигура и полнота ее параметризации. Параметризация человеческих фигур – типовой или индивидуальной – необходима по нескольким причинам:

- 1) разработка антропометрической стандартизации населения;
- 2) повышение удовлетворенности потребителей конструкцией разных видов одежды, учитывающих морфологию фигур;
- 3) проектирование объемно-пространственных форм одежды с разными величинами воздушных зазоров между поверхностью фигуры и внутренней поверхностью одежды;
- 4) градация чертежей деталей одежды в широком диапазоне размеров и ростов с сохранением всех конструктивных особенностей

той формы одежды и обеспечения ее требуемой посадки на разных фигурах;

5) генерирование виртуальных двойников человеческих фигур как самостоятельных объектов, так и для процессов виртуальной симуляции одежды [2], [3].

Для достижения каждого указанного результата необходим разный объем числовой информации. Сейчас стало очевидным, что нынешнее содержание антропоморфной информации недостаточно для качественной реализации всех перечисленных направлений в условиях цифровизации швейного производства. Программы антропометрических исследований изложены в действующей нормативной документации [4], [5]. Для параметризации фигур и измерения размерных признаков на поверхности фигур выделяют:

- 1) антропометрические точки (в российской типологии их 31);
- 2) основные горизонтальные антропометрические уровни;
- 3) условные линии, соотнесенные с будущим конструктивным членением одежды. Такими линиями являются: линии плечевого и бокового швов; уровни ниже или выше талии и бедер; длина изделия или его частей относительно антропометрической точки или уровня (их выбор зависит от вида и конструкции проектируемой одежды);
- 4) плоскости, ориентированные особым образом относительно фигуры.

Результаты линейных измерений между антропометрическими точками, уровнями, линиями и плоскостями разделяют на группы:

- 1) измерения, совокупность которых дает минимально-необходимое представление о телосложении фигур, как правило, близких к условно-типовым фигурам, обеспечивающих должное качество одежды массового способа производства. Количество таких измерений невелико, а их набор зависит от группы одежды (плечевая или поясная) и ее формы;
- 2) измерения, совокупность которых необходима для более подробной характеристики особенностей телосложения фигур

(т.н. индивидуальных) или для проектирования изделий, полностью или частично повторяющих морфологию или изменяющих пластику фигуры или ее частей. Для таких видов одежды разрабатывают специальные программы измерений в статике и динамике;

3) конструктивно-ориентированные измерения, которые используют для воспроизведения в чертежах конструкций модельных особенностей деталей, узлов и изделий, например, длины изделия или рукавов, положения карманов в специальной одежде или связанные с особыми эргономическими позами.

Результаты перечисленных измерений формируют для получения одного из трех возможных уровней параметризации фигур:

1) антропометрический (начальный), основанный на линейных и угловых измерениях поверхности и контуров фигур. Предназначен для плоскостного конструирования одежды;

2) антропоморфологический (повышенный), основанный на измерениях поверхности и контуров фигур, а также результатах сравнительного визуального анализа фигур. Предназначен для плоскостного конструирования одежды;

3) конструктивно-антропометрический виртуальный, включающий результаты антропометрического и антропоморфологического уровней и дополнительные параметры, относящиеся к поверхности, контурам, сечениям и объемно-пространственным формам фигур.

В настоящей статье проанализировано современное состояние антропометрической базы населения Российской Федерации и раскрыто содержание научных исследований, проводимых на кафедре конструирования швейных изделий ИВГПУ.

#### *Методы исследований*

В работе использован алгоритм проведения антропометрических исследований с помощью технологии лазерного бодисканирования и обработки результатов с применением компьютерных графических и статистических программ.

#### *Результаты и обсуждения*

В основу параметризации фигур третьего уровня положена расширенная номен-

клатура антропометрических точек и размерных признаков, новые схемы измерения размерных признаков, их детализация для описания морфологических особенностей фигур. Информация, содержащаяся в новой классификации, предназначена для построения чертежей конструкций одежды и качественного выполнения виртуальных примерок одежды.

Первым условием для включения размерных признаков в конструктивно-антропометрическую классификацию является возможность их непосредственного применения для построения чертежей конструкций. Например, существующий основной размерный признак "Обхват груди третий" (полуобхват груди третий) используют для определения ширины базисной сетки торса фигуры, а разделение его между передом и спинкой производят уже на основании рекомендаций методики конструирования. Построение плечевых линий в чертеже основано на неявном согласовании параметров линий горловины и проймы и применении, как правило, единственного размерного признака "Длина плечевого ската": естественно, что такой подход не учитывает морфологические особенности плечевого пояса. Приведенные два примера показывают ограниченность в использовании существующих размерных признаков.

Вторым условием включения новых размерных признаков является возможность их использования для генерирования виртуальных двойников типовых фигур, в частности, для правильной постановки их в трехмерном пространстве. От правильности постановки виртуального двойника будет зависеть посадка на нем виртуальной одежды. К сожалению, разработанные в настоящее время проекционные размерные признаки не гарантируют однозначной ориентации фигуры в пространстве и, как следствие, адекватность виртуальных систем "аватар фигуры - одежда" их материальным прототипам.

Таким образом, конструктивно-антропометрический уровень информационного обеспечения процесса виртуального проектирования включает антропометрическую, морфологическую и конструктивную коли-

качественную характеристику условно-типовой или индивидуальной фигур, достаточную для генерирования их виртуальных двойников, получения антропоморфных чертежей конструкций и обеспечения качественной посадки материальной и виртуальной одежды.

Рассмотрим основные аспекты наполнения базы данных для виртуального проектирования одежды.

Для разработки такой базы необходимы следующие виды оцифрованной информации об индивидуальных и условно-типовых фигурах: численные значения размерных признаков, абрисы и сечения фигур и их частей (2D), виртуальные полноростовые двойники индивидуальных фигур (3D). Новая информация может быть получена после анализа и обработки следующих объектов, которые сведены в табл. 1.

Таблица 1

№	Объект параметризации	Новая антропометрическая информация
1	Поверхность сканированной фигуры	1. Неограниченное количество антропометрических точек и уровней и любых конструктивными линиями
		2. Координаты и схемы нахождения новых антропометрических точек для измерения размерных признаков
		3. Новые линейные измерения - длины, дуги, ширины, периметры, расстояния, доли измерений для участков фигур
2	Плоская развертка поверхности торса сканированной фигуры или ее частей	1. Координаты антропометрических точек на плоскости для построения базисной сетки чертежа 2. Контур разверток с нулевыми конструктивными прибавками
3	Контур фигуры	Проекционные измерения - высоты, диаметры, глубины, углы, расстояния от условных объектов и плоскостей
4	Вертикальные, горизонтальные и иные сечения фигур	1. Сечения фигур, периметры сечений, диаметры и другие проекционные измерения 2. Усредненные горизонтальные, вертикальные и иные сечения для построения манекенов и виртуальных двойников условно-типовых фигур
5	Контур и комбинации сечений фигур	Показатели для ориентации виртуального двойника фигуры в пространстве: 1. Координаты центра тяжести фигуры 2. Угол пространственной ориентации фигуры

Безусловно, что наличие оцифрованной человеческой фигуры (виртуального клона) снимает многие ограничения по проведению измерений и значительно повышает

точность получаемых результатов. В табл. 2 приведены некоторые результаты из формирующейся конструктивно-антропометрической базы данных.

Таблица 2

№	Графическая схема применения	Область применения
Для обеспечения антропоморфного соответствия в подкорпусной части фигуры		
1		Проектирование плечевой одежды, а именно длины верхнего среза брюк, юбок, белья и пр. [6]
2		Проектирование белья (нахождение длины нижнего среза) [6]
3		Проектирование нижнего белья, брюк, комбинезонов [6]



Для обеспечения балансового равновесия одежды на фигуре			
4	<p>Новые размерные признаки "Передние и задние доли полуобхватов на уровне груди, талии и бедер".</p> <p>Схема измерения: провести вертикаль из плечевой точки вдоль торса, измерить расстояния от вертикали до середины талии, бедер и груди спереди и сзади</p>		<p>Разделение ширины базисной сетки между передом и спинкой для достижения балансового равновесия в поперечном направлении [7], [8]</p>
5	<p>Новый размерный признак "Сумма углов наклона плечевых линий развертки плечевого пояса фигуры". Схема измерения включает измерение нескольких дополнительных размерных признаков и получение развертки опорной поверхности фигуры методом радиусографии</p>		<p>Проектирование любых видов плечевой одежды для достижения балансового равновесия в продольном направлении [7]</p>

Информация из табл.2 показывает новые виды антропометрической информации и возможные области их применения для построения чертежей разных видов одежды. Очевидно, что эта информация детализирует важные процедуры, благодаря которым значительно улучшается качество проектируемой одежды.

Научные исследования продолжают для получения необходимой и достаточной информации, которая позволит генерировать виртуальные двойники типовых фигур согласно российской типологии населения и восполнить их отсутствие в мировом информационном пространстве.

## ВЫВОДЫ

1. Сформирована концепция конструктивно-антропометрического уровня параметризации фигур, необходимого и достаточного для генерирования виртуальных двойников фигур и построения чертежей деталей одежды с учетом антропоморфологических особенностей фигур.

2. Разработаны новые размерные признаки, с помощью которых можно добиться продольного и поперечного балансового равновесия одежды на фигуре и обеспечить их антропоморфное соответствие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Digital Twins: Basics and Applications, Springer, 2022.
2. Жукова И.В., Кузьмичев В.Е. Проектирование твердотельных цифровых двойников типовых российских фигур для оценки качества виртуальной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 3. С. 106...112.
3. База данных цифровых двойников сканированных полноростовых женских фигур /Жукова И.В., Кузьмичев В.Е., Сахарова Н.А./ Свидетельство о регистрации базы данных 2021621691, 10.08.2021. Заявка № 2021621596 от 29.07.2021
4. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. – ОАО "ЦНИИШП". 2003.
5. Типовые фигуры мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды. – ОАО "ЦНИИШП". 2005.
6. Чэн Ч. Совершенствование процесса проектирования мужского белья: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2019.
7. Янь Ц. Разработка технологии виртуального проектирования мужских сорочек с прогнозируемым уровнем качества посадки: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2021.
8. У. С. Совершенствование технологии проектирования женских гидрокостюмов для подводного плавания: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2022.

## REFERENCES

1. Digital Twins: Basics and Applications, Springer, 2022.
2. Zhukova I.V., Kuzmichev V.E. Design of solid-state virtual doubles of typical Russian figures that improve the assessment of the quality of clothing fit //

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – Ivanovo, 2020.

3. I.V. Zhukova, V.E. Kuzmichev and N.A. Sakharova, R.U. Patent №. 2021621691 (10.08.2021).

4. Typical figures of woman. Dimensional signs for designing clothes. - M: OJSC TsNIISHP, 2003.

5. Typical figures of men. Dimensional signs for designing clothes. - M: OJSC TsNIISHP, 2005.

6. Cheng, Z. Development of men's underwear design: thesis .... PhD of technical sciences. - Ivanovo, 2019.

7. Yan J. Development of e-bespoke men's shirt virtual design with predictable fit / thesis .... PhD of technical sciences. - Ivanovo, 2021.

8. Wu X. Improvement of design technology of women's diving wetsuits / thesis .... PhD of technical sciences. – Ivanovo, 2022.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 21.11.22.

УДК 7.021

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_148

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ 3D-ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 3D INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF PRODUCTS OF THE TEXTILE AND LIGHT INDUSTRIES

Г.Р. ЗАЛЯЛЮТДИНОВА, В.В. ХАММАТОВА

G.R. ZALYALYUTDINOVA, V.V. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: venerabb@mail.ru

*В работе рассмотрены современные методы применения информационных технологий для обучения студентов дизайну костюма, исследуются возможности применения цифровой визуализации рисунков в текстильной и легкой промышленности. Как и в профессиональной практике, интеграция приложений для рисования в обучение дизайну является сложной задачей. Исследования в области педагогики дизайна показали, что студенты преодолевают различные препятствия на пути к тому, чтобы стать успешным дизайн-практиком, и применение цифровых технологий может быть полезным для развития студентов-дизайнеров.*

*Рассматриваются параллели между набросками и областями расхождения. от абстрактных, линейных представлений процесса к более конкретным, итеративным представлениям в виде цифрового эскиза.*

*Цель работы - получить опыт, понимание и необходимость использования новейших средств для создания эскизов, в рамках обучения дизайну костюма.*

*The paper considers modern methods of using information technologies to teach students costume design, explores the possibilities of using digital visualization of drawings in the textile and light industry. As in professional practice, integrating drawing applications into design training is a challenging task. Research in the field of design pedagogy has shown that students overcome various obstacles on the way*



*to becoming a successful design practitioner, and the use of digital technologies can be useful for the development of fashion design students.*

*The parallels between the sketches and the areas of divergence, from abstract, linear representations of the process to more specific, iterative representations in the form of a digital sketch are considered.*

*The purpose of the work is to gain experience, understanding and the need to use the latest means to create sketches, as part of training in costume design..*

**Ключевые слова:** цифровое рисование, текстильная, легкая промышленность, обучение, дизайн костюма, эскиз, материал.

**Keywords:** digital drawing, textile, light industry, training, costume design, sketch, material.

В современное время легкая промышленность развивается по различным направлениям, на что активно влияют новые цифровые технологии, позволяющие оптимизировать рабочие процессы и делающие жизнь людей комфортнее.

Искусство и его взаимодействие с технологиями проявляли себя в различных формах и техниках представления на протяжении всего времени. Новые формы цифрового искусства продолжали изобретаться, раздвигая границы творческого самовыражения. Традиционные виды деятельности, такие как живопись и скульптура, были радикально преобразованы цифровыми технологиями и средствами массовой информации, в то время как совершенно новые формы, такие как сетевое искусство, цифровая инсталляция и виртуальная реальность, стали признанной художественной практикой, собранной музеями, учреждениями и отдельными лицами по всему миру [1]. На данный момент программное обеспечение для компьютерной графики, такое как 2D-, 3D- и 4D-чертеж и моделирование наряду с оборудованием, таким как цифровые камеры, сканеры, принтеры, очки виртуальной реальности, планшеты и ручки и т.д., стали практичными и популярными инструментами, как для профессионалов, так и для обычных людей.

В частности, с изобретением графических планшетов цифровое рисование стало перспективной техникой для архитекторов, карикатуристов, художников-графиков, дизайнеров и т.д. Многочисленные цифровые

чертежи и приложения для рисования эскизов сегодня предоставляют широкий выбор карандашей для рисования, кистей и вариантов цвета, а также масштабирование, измерение, помощь в перспективе, создание портфолио, сохранение файлов и возможность совместного использования в Интернете [2].

В связи с быстрым проникновением компьютерных технологий в нашу жизнь процессы проектирования и разработки в последние годы стали почти полностью компьютеризированными.

На сегодняшний день рост компьютерных технологий послужил мощным толчком для развития инноваций в сфере развития легкой и текстильной промышленности, что расширило возможности дизайнеров и производителей. Для успешного конкурентного позиционирования на рынке важно оперативно обмениваться информационными данными. Для взаимодействия дизайнеров с производителями, а производителям соответственно с поставщиками, автоматизации рабочих процессов компаний на всех уровнях и предупреждения о проблемах на производстве необходима корпоративная информативная система, позволяющая следить за текущим состоянием дел при производстве товаров народного потребления [3].

Программное обеспечение для автоматизированного рисования, обеспечивающее высокую скорость и точность производства, также обвиняют в потере креативности. Предыдущие исследования деятельности по созданию эскизов и когнитивных

процессов дизайнеров доказали, что рисование от руки имеет преимущества перед цифровыми средствами массовой информации, такими как поддержка восприятия визуально-пространственных особенностей и организационных отношений дизайна, выработка альтернативных решений и лучшая концепция проблемы дизайна [4]. Дизайнеры используют эти преимущества традиционных средств массовой информации и продолжают использовать ручку и бумагу на этапе решения дизайнерских проблем. Большинство полагается на цифровые инструменты на более поздних этапах, таких как чертеж конструкции и окончательный рендеринг.

Новейшие цифровые планшеты сильно отличаются от обычных компьютеров с точки зрения мобильности, повышенного уровня точности пера, чувствительности к давлению и удобных приложений. Они стали более удобными для творческих работ, включая рисование, редактирование изображений, проектирование, создание эскизов и анимацию [3], [4].

Большинство всех графических проектов представляется в компьютерной версии. Интерактивная компьютерная графика, как использование компьютеров для подготовки и воспроизведения изображений, но при этом имея возможность оперативно вносить изменения в изображение непосредственно в процессе его воспроизведения, т.е. возможность работы с графикой в режиме диалога в реальном масштабе времени.

Интерактивная графика представляет собой важный раздел компьютерной графики, когда пользователь имеет возможность динамически управлять содержимым изображения, его формой, размером и цветом на поверхности дисплея с помощью интерактивных устройств управления [5].

Деятельность дизайнеров, стилистов-профессионалов, занимающихся проектированием одежды, основывается на процессе эскизирования, который должен быть проведен в очень сжатые сроки. И не в одном эскизе модели, а целой коллекции, и иногда нескольких. При этом необходима разработка всех возможных цветовых ре-

шений каждой модели, передача фактуры материала и всех возможных ее вариантов. А также в отображении технического рисунка, на котором должны быть четко обозначены все детали кроя и хорошо прочитываться конструкция изделия [6].

Возможности компьютерных программ намного шире, чем возможности человека. Создание ряда модификаций одной модели, отличающихся друг от друга используемыми тканями и декоративно - функциональными элементами (карманами, воротниками, манжетами и т.п.), позволяет выполнять эскизы, лекала, градацию, раскладку, расчет материала, за небольшой отрезок времени, имея в наличии компьютер с программой.

Основные цели исследования – повысить осведомленность о цифровом рисовании и привнести опыт использования цифровых носителей. Исследование посвящено следующим вопросам: Знакомы ли студенты - дизайнеры с цифровыми инструментами для рисования эскизов? Существуют ли различия между цифровым наброском и обычным наброском с точки зрения оригинальности и креативности? В чем ценность использования цифровых планшетов для рисования в контексте обучения дизайну? Как можно улучшить способности студентов рисовать с помощью цифровых носителей [7]?

Трехмерная графика значительно отличается от всех остальных видов графики. Анализируя приемы и методы создания объемных моделей объектов, можно отметить, что именно такой способ создания объекта является самым точным и приближенным к реальным. Такие объемные изображения можно вращать и рассматривать со всех сторон. Для создания объемных изображений используются разные графические фигуры и гладкие поверхности. При помощи их сначала создается каркас объекта, затем его поверхность покрывается материалами, визуально похожими на реальные. После этого производится осветление, гравитация, свойства атмосферы и другие параметры пространства, в котором находится объект [8]. Для двигающихся объектов указывается траектория движе-

ния, скорость, пример модели персонажа, созданные в ZBrush, что представлено на рис. 1.



Рис. 1

На рис. 2...4 показан процесс создания реальных многоцветных иллюстраций час-

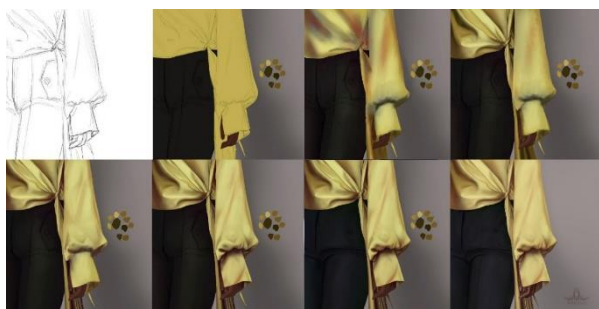


Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

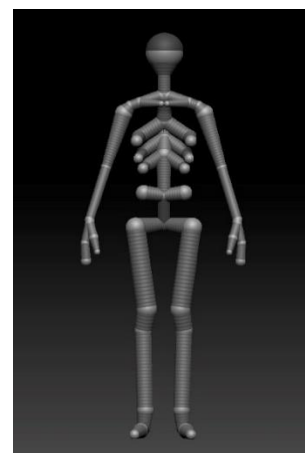


Рис. 5

Еще один вид иллюстраций одежды – 3D-модели, выполненные в программе ZBrush. Такие модели создаются путем скульптинга пластичного материала программы с использованием специальных кистей.

Сам процесс скульптинга модели достаточно трудоемкий и занимает много времени. Сначала лепится основная конструкция модели с помощью специальных поле-

тей одежды (рукава из тонкой гладкой ткани, юбки из искусственного плотного материала, обуви), которые созданы в программе Procreate. В основе их создания лежит копирование реалистичного объекта, его формы, передача объема, текстуры, цвета и света. Такие иллюстрации являются наиболее сложными в их создании, так как от качества и прорисовки деталей зависит конечный результат работы в целом, а затраченное на них время куда больше, чем при создании стилизованных и даже изображений, выполненных на бумаге [9].

сфер, показанных на рис. 5, затем модель переводится в объект для скульптинга и впоследствии формируется тело человека с учетом всех пропорций. Отдельно прорабатываются черты лица и волосы (показаны на рис. 6 [10]). Далее по необходимости создается одежда поверх готовой фигуры, прорабатываются складки, швы и текстура материала. Данный этап показан на рис. 7 [11].



Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8

Последним и заключающим этапом создания 3D-иллюстрации является нанесение цвета и рендер модели в программе KeyShot. Пример представлен на рис. 8.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, рисование со студентами-дизайнерами раскрывает потенциал цифрового рисования, которое, как предполагается, со временем может заменить рисование вручную. Результаты показывают, что обычные средства для рисования по-прежнему являются наиболее предпочтительными, по крайней мере, в дизайнерском образовании, поскольку цель рисования в образовании и на практике может быть просто дифференцирована [12].

Двусмысленность набросков не является негативной характеристикой; напротив, она помогает увидеть новые возможности и приводит к позитивным изменениям и преобразованиям. Восприятие не является абсолютным; это гибридные образования, созданные наложенными изображениями, поступающими с сетчатки и накапливающиеся в нашей долговременной памяти.

Поскольку неоднозначность графических эскизов изменяет эти гибридные структуры, созданные наложенными изображениями, изображения остаются яркими, стимулируемыми эффектом умножения и многослойности [13].

Опросы студентов показывают, что возникла необходимость в переходе полностью на цифровые технологии, но невозможно полностью отменить начальное отображение поиска формы вручную. В этом случае гибридные рисунки и техники, сочетающие привилегии обоих носителей, могут быть более перспективными для отражения оригинальности репрезентативных навыков и творческих идей. Новейшие технологии Интернета и метод цифрового планирования откроют новые горизонты для более эффективного управления процессом создания новых проектов и коллекций одежды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The 13 best apps for drawing and painting on your iPad, Accessed 01 December, 2017. Retrieved from URL: [www.digitalartsonline.co.uk/features/illustration/13-best-apps-for-drawing-painting-on-ipad/#6](http://www.digitalartsonline.co.uk/features/illustration/13-best-apps-for-drawing-painting-on-ipad/#6) (accessed 28.04.2021).
2. Компьютерная графика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [wowcomputergraphics.blogspot.com/p/blog-page\\_27.html](http://wowcomputergraphics.blogspot.com/p/blog-page_27.html), свободный.
3. Adobe Photoshop Sketch, URL: [www.adobe.com/](http://www.adobe.com/) (дата обращения 29.04.2021). – Текст электронный.
4. Procreate app, URL: [procreate.art/](http://procreate.art/) (дата обращения 29.04.2021). – Текст электронный.
5. Залялютдинова Г.Р., Кумпан Е.В., Хамматова В.В. 3D-визуализация проектного изображения фигуры человека и формы костюма. – Казань: КНИТУ, 2020.
6. Ронни Шушан. Дизайн и компьютер / Дон Райт, Лора Льюис. – М: Microsoft Press. Русская редакция, 1997.

7. Зиновьева Е. А. Компьютерный дизайн. Векторная графика. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016.

8. Ferguson E. S. The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology, Science. – Vol. 197, № 4306, 2017. P. 827...836.

9. Ayiran N. The role of sketches in terms of creativity in design education and the effects of a scientific ideal. – ITU A|Z. 2007. V. 4, No 2. P. 52...66.

10. Doll W. E. Beyond Methods? Teaching As an Aesthetic and Spritful Quest, in Mirochnic, E., Sherman, D. C. (Eds.), Passion and Pedagogy Relation, Creation and Transformation in Teaching, Peter Lang. – New York, 2002. P. 127...152.

11. Тучкевич Е. И. Самоучитель Adobe Illustrator CC 2018. – СПб: БХВ-Петербург, 2019.

12. Шаффлботэм Р. Photoshop CC для начинающих. – М: Издательство "Э", 2017.

13. Келлер Э. Введение в ZBrush 4/Э. –М: ДМЛ Пресс, 2012.

#### REFERENCES

1. The 13 best apps for drawing and painting on your iPad, Accessed 01 December, 2017. Retrieved from URL: [www.digitalartsonline.co.uk/features/illustration/13-best-apps-for-drawing-painting-on-ipad/#6](http://www.digitalartsonline.co.uk/features/illustration/13-best-apps-for-drawing-painting-on-ipad/#6) (accessed 28.04.2021)

2. Computer graphics [Electronic resource]. – Access mode: URL: [wowcomputer-graphics.blogspot.com/p/blog-page\\_27.html](http://wowcomputer-graphics.blogspot.com/p/blog-page_27.html), free.

3. Adobe Photoshop Sketch, URL: [www.adobe.com/](http://www.adobe.com/) (дата обращения 29.04.2021). - Electronic text.

4. Procreate app, URL: [procreate.art/](http://procreate.art/) (дата обращения 29.04.2021).

5. Zalyutdinova G.R., Kumpan E.V., Khammatova V.V. 3D visualization of the design image of the human figure and the shape of the suit. - Kazan: KNITU, 2020.

6. Ronnie Shushan. Design and computer / Don Wright, Laura Lewis. – М: Microsoft Press. Russian edition, 1997.

7. Zinovieva E.A. Computer design. Vector graphics/ – Ekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2016.

8. Ferguson E.S. The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology, Science. – Vol. 197, № 4306, 2017. P. 827...836.

9. Ayiran N. The role of sketches in terms of creativity in design education and the effects of a scientific ideal. – ITU A|Z. 2007. Vol: 4. № 2. P. 52...66.

10. Doll W. E. "Beyond Methods? Teaching As an Aesthetic and Spritful Quest", in Mirochnic, E., Sherman, D. C. (Eds.), Passion and Pedagogy Relation, Creation and Transformation in Teaching, Peter Lang, New York, 2002. P. 127...152.

11. Tuchkevich E. I. Adobe Illustrator CC Tutorial 2018. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2019.

12. Shufflebotham R. Photoshop CC for beginners. – М: Publishing House "E", 2017.

13. Keller E. Introduction to ZBrush 4. –М: DML Press, 2012.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 18.11.22.

УДК 539.434:677.494

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_154

**ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ И РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\***

**DIGITAL METHODS FOR DEFORMATION AND RELAXATION  
PROCESSES PREDICTION  
OF POLYMERIC TEXTILE MATERIALS\***

*Н.В. ПЕРЕБОРОВА*

*N.V. PEREBOROVA*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: nina1332@yandex.ru

*В статье рассматриваются методы цифрового прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Основу такого прогнозирования составляют математические модели соответствующих эксплуатационных процессов любой степени сложности - от процессов простой релаксации и простой ползучести до сложных деформационно-восстановительных процессов.*

*The article discusses methods for digital prediction of deformation and relaxation processes in polymeric textile materials. The basis of such forecasting is mathematical models of the corresponding operational processes of any complexity degree - from the processes of simple relaxation and simple creep to complex deformation-recovery processes.*

**Ключевые слова:** цифровое прогнозирование, полимерные текстильные материалы, деформационные процессы, релаксационные процессы.

**Keywords:** digital forecasting, polymeric textile materials, deformation processes, relaxation processes.

---

\* Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ, проект № FSEZ-2020-0005.

Одним из важных направлений развития науки о полимерных текстильных материалах является изучение их деформационных свойств в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации, при помощи математического моделирования процессов деформирования на основе обработки экспериментальной информации. Разработка методов цифрового прогнозирования деформационных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов связана прежде всего с расширяющимся их применением в технических изделиях [1].

Данный фактор способствует повышению значимости математического моделирования и цифрового прогнозирования деформационных свойств полимеров, поскольку это неразрывно связано с решением задач по сравнительному анализу свойств материалов, с исследованиями взаимосвязи свойств со структурой, с целенаправленным технологическим регулированием свойств, а также с прогнозированием кратковременных и длительных механических воздействий. Все это способствует повышению эффективности решения технологических задач, а также создает основу для оптимизации и управления технологическими процессами [2].

В настоящее время проведены многочисленные исследования деформационных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов, в то время как большее разнообразие материалов доказывает необходимость разработки новых методов исследования их деформационных свойств.

Усложнение структуры полимерных текстильных материалов существенно сказывается на их эксплуатационных свойствах, что обосновывает поиск новых математических моделей указанных свойств и применение цифровых методов обработки экспериментальной информации [3].

Создание новых методов анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов, учитывающих их сложное строение, способствует наиболее достоверному прогнозированию деформационных процессов.

Известные подходы к анализу деформационных свойств полимерных текстильных материалов 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. Данные методики анализа и прогнозирования деформационных процессов дают хорошие результаты при исследовании полимерных текстильных материалов относительно простой макроструктуры типа синтетических нитей [4].

Исследование же механических свойств полимеров более сложного макростроения и изделий из них затруднено наличием у них усложненного спектра времен релаксации и запаздывания ввиду наложения друг на друга элементарных спектров, соответствующих составляющим материал элементов.

Это обстоятельство стимулировало поиск математических моделей деформационных свойств на основе новых, по возможности более простых, релаксационных функций и функций запаздывания, соответствующих усложненным спектрам. При построении теории анализа и обработки экспериментальной информации учитывалось, как требование к минимальному числу параметров математической модели, так и их физическая обоснованность, что должно способствовать упрощению решения дальнейших технологических задач управления [5].

В настоящее время наилучшие результаты при математическом моделировании эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов достигается с использованием релаксационных и деформационных функций, построенных на основе вероятностного распределения Коши [6]:

$$E_{\text{ст}} = E_0 - (E_0 - E_{\infty}) \varphi_{\text{ст}}, \quad (1)$$

$$D_{\text{ст}} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \varphi_{\text{ст}}, \quad (2)$$

$$\varphi_{\text{ст}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{1}{b_{\text{не}}} \ln \frac{t}{\tau_{\varepsilon}} \right), \quad (3)$$



$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} \right), \quad (4)$$

где  $E_{\epsilon t}$  – модуль релаксации;  $D_{\sigma t}$  – податливость;  $t$  – время  $1/b_{n\epsilon}$  – параметр интенсивности процесса релаксации;  $1/b_{n\sigma}$  – параметр интенсивности процесса ползучести;  $\tau_{\epsilon}$  – время релаксации (время, за которое проходит половина процесса релаксации при величине деформации);  $\tau_{\sigma}$  – время запаздывания (время, за которое проходит половина процесса ползучести при величине напряжения);  $E_{\epsilon t} = \sigma/\epsilon$  – модуль релаксации;  $E_0$  – модуль упругости;  $E_{\infty}$  – модуль вязкоупругости;  $D_{\sigma t} = \epsilon/\sigma$  – податливость;  $D_0$  – начальная податливость;  $D_{\infty}$  – предельная равновесная податливость;  $\epsilon$  – деформация;  $\sigma$  – напряжение;  $\varphi_{\epsilon t}$  – функция релаксации и  $\varphi_{\sigma t}$  – функция ползучести, заданные в виде нормированного арктангенса логарифма приведенного времени (НАЛ).

Функция НАЛ, соответствующая вероятностному распределению Коши, обладает существенно более низкой скоростью сходимости к своим асимптотическим значениям, что выгодно отличает ее от ранее используемых нормированных функций. Предложенный вариант математического моделирования наиболее подходит не только для прогнозирования кратковременных и длительных деформационных процессов полимерных материалов, но также и для прогнозирования вязкоупругих процессов полимерных 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 полимер микроструктур распределены по внутренним временам релаксации и запаздывания по закону Коши, то можно считать, что и макрорелаксирующие и макрозапаздывающие частицы распределены по этому закону [7].

Несомненным достоинством математической модели (1)...(4) является то, что она содержит минимальное число параметров, имеющих ясный физический смысл:

$$-E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\epsilon t}, \quad E_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\epsilon t},$$

$$D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} D_{\sigma t}, \quad D_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{\sigma t}$$

- асимптотические значения модуля релаксации и податливости;

- структурные параметры  $b_{n\epsilon}$  и  $b_{n\sigma}$  характеризуют скорость процессов релаксации и ползучести – указанные параметры соответствуют логарифму приведенного времени "полурелаксации" (половина процесса релаксации при деформации  $\epsilon$  происходит в интервале времени  $t \in [t', t'']$ , где  $\ln(t'/\tau_{\epsilon}) = -b_{n\epsilon}$ ,  $\ln(t''/\tau_{\epsilon}) = b_{n\epsilon}$ ) и "полузапаздывания" (половина процесса ползучести при напряжении  $\sigma$  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  $f_{\epsilon, \epsilon} = \ln(t_1/\tau_{\epsilon})$  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 [8]:

$$W_{\epsilon t} = \frac{1}{b_{n\epsilon}} \ln \frac{t}{\tau_{\epsilon}} = \frac{1}{b_{n\epsilon}} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_{\epsilon}} \right) \right) \quad (5)$$

и в структурно-силорвременном 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  $E_{\epsilon t}$  и податливость  $D_{\sigma t}$  в достаточно широком временном диапазоне, что дает возможность прогнозирования как быстротекущих, так и длительных деформационных процессов [9].

Используя функцию НАЛ для расчетного прогнозирования деформационных процессов, авторами был отмечен инте-



ресный факт, ранее не наблюдавшийся при использовании других математических моделей вязкоупругости: у некоторой группы полимерных материалов (лавсан и др.) расчетное асимптотическое значение модуля вязкоупругости оказалось равным нулю ( $E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\text{ст}} = 0$ ), что теоретически означает, что процесс релаксации за бесконечно большое время протекает полностью. Данное обстоятельство соответствует физической концепции вязкоупругости полимеров и несомненно доказывает состоятельность предложенной математической модели вязкоупругости (1)...(6).

Наряду со сказанным следует заметить, что выбор нормированной функции для математической модели вязкоупругих свойств полимерных материалов не может быть однозначным и осложняется тем, что нельзя априорно отдать предпочтение какой-то из них. Для одних материалов наиболее подходит одна математическая модель, в то время как для моделирования вязкоупругих свойств других материалов следует отдать предпочтение другой. Основным критерием для отбора служит эксперимент. Наличие нескольких нормированных функций для моделирования позволяет сделать более правильный выбор и тем самым повысить надежность прогнозирования [10].

Исследование вязкоупругих характеристик полимерных материалов на основе предложенной математической модели (1)...(6) 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  $E_{\text{ак}}$ , что также физически обосновано, так как скорость распространения упругих взаимодействий в полимерных материалах близка к звуковой. Изменилось в сторону уменьшения и значение модуля вязкоупругости  $E_\infty$ , 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.) [11].

Таким образом, использование нормированной функции НАЛ в качестве основы математической модели вязкоупругости позволяет с достаточной степенью точности моделировать деформационные свойства полимерных материалов. Указанное моделирование расширяет деформационно-временные и силовременные 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 [12].

Прогнозирование релаксации и ползучести полимерных материалов проводится на основе известных интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра (7) – для процесса нелинейно-наследственной релаксации и (8) – для процесса нелинейно-наследственной ползучести [13]:

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_\theta \varphi'_{\varepsilon, t-\theta} d\theta, \quad (7)$$

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \int_0^t \sigma_\theta \varphi'_{\sigma, t-\theta} d\theta \quad (8)$$

с интегральными ядрами релаксации и запаздывания, соответствующими математической модели (1)...(6) [20]:

$$\varphi'_{\varepsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{b_{\text{nc}}} \frac{1}{1 + W_{\varepsilon t}^2} \frac{1}{t}, \quad (9)$$

$$\varphi'_{\sigma t} = \frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{b_{\text{nc}}} \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2} \frac{1}{t}. \quad (10)$$

Преимущество применения для моделирования деформационных процессов интегральных ядер (9), (10), 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 [14].

Кроме того, повышение точности прогнозирования основано на разработанных методах вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов (7), (8), основанных на неравномерном разбиении временной шкалы с учетом специфики рассматриваемого процесса. Например, при прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса. При прогнозировании же длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий [15].

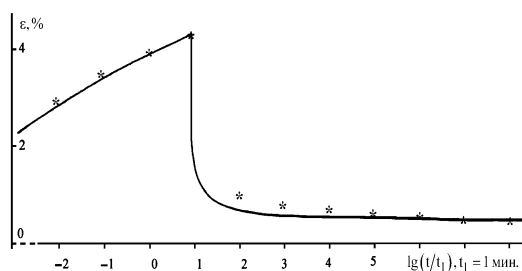


Рис. 1

Разработанные методы вычисления интеграла нелинейно-наследственной вязкоупругости (7), (8) на основе математической модели с функцией НАЛ опробованы на различных видах деформационно-восстановительных процессов и процессов обратной релаксации. Пример расчета длительного деформационно-восстановительного процесса лавсановой нити показан на рис.1 (деформационно-восстановительный процесс лавсановой нити линейной плотности 114 текс,  $T=20^\circ\text{C}$ , начальное напряжение  $\sigma = 182 \text{ МПа}$ , снятие нагрузки при  $t = 10 \text{ мин}$  (линии – эксперимент, \* – расчетный прогноз)), где наблюдается близость

расчетных точек к экспериментальным значениям.

## ВЫВОДЫ

1. Предложены методы цифрового определения эксплуатационных характеристик полимерных текстильных материалов, как параметров соответствующих математических моделей.

2. Предложены методы цифрового прогнозирования деформационных и релаксационных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов в зоне действия неразрушающих механических воздействий.

3. Предложены методы анализа деформационных и релаксационных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов в зоне действия неразрушающих механических воздействий на основе соответствующих математических моделей, существенно увеличивающих интервалы времени, нагрузки и деформации, в которых осуществляется расчетное прогнозирование эксплуатационных процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на спектр времен релаксации полимерных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2017, т. 37, № 3. С. 79...85.
2. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на механические свойства полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017, т. 30, № 2. С. 43...49.
3. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В. Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов в гибко- и жесткоцепных полимерных текстильных материалах на основе диаграмм растяжения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018, № 1. С. 5...9.
4. Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич П.П. Моделирование и прогнозирование ползучести полимерных текстильных материалов методом барьерной теории // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018. Т. 41. № 3. С. 5...9.

5. Шахова Е.А., Головина В.В., Макаров А.Г., Рымкевич П.П., Федорова С.В. Обобщенное определяющее уравнение нелинейной вязкоупругости // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 2. С.5...8.

6. Макаров А.Г., Егоров И.М. Математическое моделирование вязкоупругих процессов морских полимерных канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2019, № 4. С. 23...32.

7. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения //Химические волокна. – 2020, № 4, С. 28...30.

8. Макаров А.Г., Киселев С.В., Зурахов В.С., Бусыгин К.Н. Разработка методов математического моделирования и качественного анализа деформационно-эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2020, № 4. С. 7...16.

9. Макаров А. Г., Егоров И.М. Разработка методов системного анализа деформационно-релаксационных процессов полимерных канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2020, № 2. С. 71...83.

10. Макаров А.Г., Киселев С.В., Козлов А.А. Влияние пластического компонента деформации на точность прогнозирования функциональных свойств полимерных материалов // Химические волокна. – 2021, № 2. С. 15...19.

11. Егоров И.М., Киселев С.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Физический анализ ползучести полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей медицинского назначения// Химические волокна. – 2021, № 2. С. 70...73.

12. Киселев С.В., Козлов А.А., Макаров А.Г. Повышение достоверности математического моделирования релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2021, № 2. С. 73...83.

13. Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Литвинов А.М. Разработка методов оптимизации прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Дизайн. Материалы. Технология. – 2021, № 3. С. 127...133.

14. Макаров А.Г., Редькин Д.О. Математические модели деформационных свойств нетканых материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2021, №2. С. 28...30.

15. Макаров А.Г., Киселев С.В., Козлов А.А. Повышение достоверности моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна.

Серия 1. Естественные и технические науки. – 2021, №4. С. 55...62.

## REFERENCES

1. Rymkevich P.P., Golovina V.V., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich O.V., Shakhova E.A. Peculiarities of the influence of the supramolecular structure on the spectrum of relaxation times of polymeric textile materials//The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry. – 2017, vol. 37, № 3, P. 79...85.

2. Rymkevich P.P., Golovina V.V., Makarov A.G., Romanova A.A., Shakhova E.A. Features of the influence of the supramolecular structure on the mechanical properties of polymeric textile materials// Vestnik of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. – 2017, vol. 30, № 2, P. 43...49.

3. Rymkevich P.P., Golovina V.V., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich O.V. Prediction of deformation-relaxation processes in flexible and rigid-chain polymeric textile materials based on tension diagrams// The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry. - 2018, № 1, P. 5 ... 9.

4. Golovina V.V., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich P.P. Modeling and predicting the creep of polymeric textile materials by the method of barrier theory// The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry. – 2018. V. 41. № 3. P. 5...9.

5. Shakhova E.A., Golovina V.V., Makarov A.G., Rymkevich P.P., Fedorova S.V. Generalized constitutive equation of nonlinear viscoelasticity// The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry. – 2019, № 2, P. 5...8.

6. Makarov A.G., Egorov I.M. Mathematical modeling of viscoelastic processes of marine polymeric ropes// Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. - 2019, № 4, P. 23 ... 32.

7. Demidov A.V., Makarov A.G., Vagner V.I., Egorova M.A. Methods of system analysis of functional and operational deformation properties of polymeric textile materials for technical purposes // Chemical fibers. - 2020, № 4, P. 28 ... 30.

8. Makarov A.G., Kiselev S.V., Zurakhov V.S., Busygin K.N. Development of methods for mathematical modeling and qualitative analysis of the deformation and operational properties of aramid textile materials // Vestnik of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences. - 2020, № 4, P. 7 ... 16.

9. Makarov A.G., Egorov I.M. Development of methods for system analysis of deformation-relaxation processes of polymer ropes// Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 4: Industrial Technology. - 2020, № 2, P. 71 ... 83.

10. Makarov A.G., Kiselev S.V., Kozlov A.A. Influence of the plastic component of deformation on the accuracy of predicting the functional properties of polymeric materials // Chemical Fibers. - 2021, № 2. P.15...19.

11. Egorov I.M., Kiselev S.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Physical analysis of the creep of polypropylene and polyvinylidene fluoride threads for medical purposes // Chemical fibers. - 2021, № 2, P. 70 ... 73.

12. Kiselev S.V., Kozlov A.A., Makarov A.G. Improving the reliability of mathematical modeling of relaxation-operational processes of polymer textile materials // Design. Materials. Technology. - 2021, № 2, P. 73 ... 83.

13. Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S., Litvinov A.M. Development of methods for optimizing the prediction of deformation processes in polymeric textile materials // Design. Materials. Technology. - 2021, № 3, P. 127 ... 133.

14. Makarov A.G., Redkin D.O. Mathematical models of deformation properties of nonwoven

materials // Vestnik of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. - 2021, № 2, P. 28 ... 30.

15. Makarov A.G., Kiselev S.V., Kozlov A.A. Improving the reliability of modeling the operational processes of polymer textile materials // Vestnik of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences. - 2021, № 4, P. 55 ... 62.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 25.10.22.

УДК 677.054.89:004.94

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_160

**СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА  
ДЛЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ СЕТОК  
С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗОМ 3D-УСКОРЕНИЙ**

**WEAVING MACHINE DIAGNOSIS SYSTEM  
FOR PAPER-MAKING NETS WITH DETERMINATION  
OF DIAGNOSTIC PARAMETERS WEVELET-ANALYSIS BY 3D ACCELERATIONS**

*В.В. СИГАЧЕВА, И.Е. МЕНЯЙЛО*

*V.V. SIGACHEVA, I.E. MENYAILO*

**(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)**

**(Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)**

E-mail: sigacheva2006@mail.ru

*Эксплуатация ткацких станков в ненормативном техническом состоянии приводит к технологическим дефектам бумагоделательных сушильных сеток. Диагностическое обследование ткацкого станка проводилось на аппаратно-программном комплексе мониторинга технического состояния. Система диагностирования ткацкого станка осуществляет сбор данных с 3D - акселерометров, обработку данных, архивирование и передачу их на информационный блок. На информационном блоке осуществляется отображение параметров виброускорения в табличном и графическом виде в режиме реального времени. Диагностическая информация отражается на экране, записывается и обрабатывается в информационном блоке. Для расчета диагностических параметров, характеризующих техническое состояние, используется преобразование Фурье и вейвлет-анализ. Применялось разложение по вейвлетам Добеши на 4 уровня, для определения скрытых дефектов оборудования.*

*The weaving machines operation in an abnormal technical condition leads to process defects in paper-making drying nets. The diagnostic examination of the weaving machine was carried out on a hardware-software complex for monitoring the technical condition. The system for diagnosing the weaving machine collects data from 3D accelerometers, processes the data, archives and transfers them to the information block. The information block displays the parameters of vibration acceleration in tabular and graphical form in real time. Diagnostic information is displayed on the screen, recorded and processed in the information block. Fourier transform and wavelet analysis are used to calculate diagnostic parameters characterizing the technical condition. The Daubechies wavelet decomposition at the 4th level was used to determine the hidden defects of the equipment.*

**Ключевые слова:** ткацкий станок, система диагностирования, акселерометр, диагностические параметры, вейвлет-анализ, виброускорение, информационный блок, техническое состояние.

**Keywords:** weaving machine, diagnostic system, accelerometer, diagnostic parameters, wavelet analysis, vibration acceleration, information block, technical condition.

### Введение

Своевременное диагностирование ткацких станков для сушильных сеток бумагоделательных машин [1] позволяет на ранней стадии определить дефекты технического состояния, что предотвращает ускоренный износ механизмов, образование дефектов на самой сетке, обрыв нитей. Дополнительная вибрация валов, приводных кулачково-рычажных механизмов рабочих органов возникает вследствие износа подшипников, муфт, соединений, способы диагностики которых описаны в трудах [2], [3]. Специфика ткацких станков, оснащенных всеми типами механизмов, требует индивидуального подхода к их диагностированию.

Модернизация эксплуатируемого оборудования посредством внедрения как встроенной в станок диагностической системы, так и использования переносных мобильных устройств диагностики позволит своевременно устранять технические неполадки и стабилизировать технологический процесс.

Современный уровень приборостроения, увеличение сроков службы датчиков позволили разработать концепцию диагностический аппаратуры [4].

### Методы

Разработана система диагностирования ткацкого станка, осуществляющая сбор данных с 3D - акселерометров, обработку данных, архивирование и передачу их на информационный блок. Обработка массивов данных всех механизмов для определения диагностических параметров (ДП) технического состояния выполнялась на компьютере с использованием специально разработанного программного обеспечения [5], [6]. По диагностическим параметрам оценивается остаточный рабочий ресурс, ремонтпригодность механизмов. Как показали исследования [7], при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов повышается ресурсосбережение ткацких станков за счет снижения энергопотребления, увеличения сроков эксплуатации.

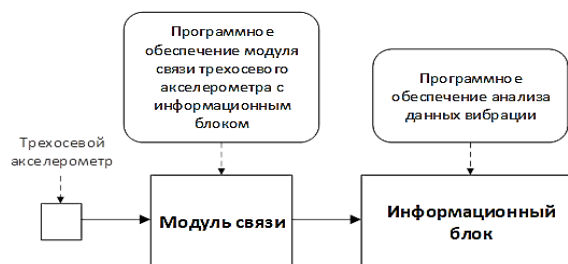


Рис. 1

Упрощенная структурная схема диагностической системы ткацкого станка представлена на рис. 1.

На информационном блоке осуществляется отображение параметров виброускорения в табличном и графическом виде в режиме реального времени. По вибрационным показателям, с помощью анализа данных, можно также определить изменения в общем техническом состоянии станка. Для этого необходимо установить диагностические точки, отражающие техническое состояние, на которые действуют максимальные динамические нагрузки [8]. На такие точки устанавливаются 3D-акселерометры, сигналы с которых через модуль связи передаются на информационный блок. Анализ полученных данных выполняется с помощью специального программного обеспечения [9], позволяющего определять состояние ткацких станков по параметрам вибрации, а также выполнить спектральный анализ для определения диагностических параметров, характеризующих износ. Дополнительно определяются скрытые дефекты механизмов с помощью вейвлет-анализа.

Принцип действия системы основан на измерении виброускорения контролируемого объекта с помощью трехосевого акселерометра. Данные от акселерометра передаются на модуль связи, модуль связи обрабатывает полученные данные и передает их на информационный блок. На информационном блоке параметры виброускорения представлены в табличной, либо в графической форме по каждой из трех осей X, Y, Z.

В качестве узла, наиболее точно определяющего общее техническое состояние ткацкого станка, было выбрано место установки датчика на станине редукционного корпуса, так как данный узел включает в себя соединения основных органов станка, валов станка, соединение с электродвигателем, а также он находится близко к основным движущимся механизмам, которые оказывают непосредственное воздействие на вибрацию всего станка в целом.

Акселерометр представляет собой датчик на основе чипа "LSM6DS3". Данный

датчик является трехосевым акселерометром, который снимает данные вибрации по трем осям X, Y, Z и способен передавать данные по цифровым протоколам передачи данных. Датчик обладает низким энергопотреблением и регулятором питания внутри, высокой чувствительностью и низкой шумовой помехой. Он может быть настроен на различные уровни чувствительности ускорения.

Датчик вибрации устанавливался на специальное крепление, которое жестко связывается с местом установки, с помощью болтового соединения. Конструкция установки датчика исключает демпферное воздействие на датчик, которое может негативно влиять на точность снятия показаний.

Данные от датчика передаются с помощью проводов по протоколу передачи данных I2C на модуль связи на базе микроконтроллера STM32. Модуль связи осуществляет соединения датчика вибрации, получает и обрабатывает данные вибрации, а также передает их на информационный блок, выполненный в виде ноутбука. Полученные данные на ноутбуке являются текущими показаниями вибрации ткацкого станка и могут отображаться в численном виде, либо в виде графиков по трем осям X, Y, Z в режиме реального времени. Данные в численной форме могут отображаться в любой из программ, которая используется в качестве терминала, для считывания данных с внешних устройств. Диапазон чувствительности измерения вибрации задается программно и может иметь значения 2g, 4g, 8g, 16g.

Помимо текущего представления данных измеренные значения записываются в архив, в табличном виде, по каждой из осей. Далее эти данные помещаются в программу "Matlab" для анализа и обработки, в которой был написан код программного обеспечения анализа и обработки параметров вибрации. Программное обеспечение в "Matlab" позволяет построить графики сигналов по каждой из осей, каждого станка, с заданной чувствительностью, а также провести вейвлет-анализ по полученным сигналам.

### Результаты и обсуждения

Измерения проводились для станков компании "Нево-Клос". По графикам сигнала виброускорения ткацких станков визуально определялась их техническая исправность. На изношенных ткацких станках сигналы ускорения заметно отличаются от исправных и имеют характерные пики в момент приобоя батанного механизма, либо в момент прокладки нити прокладчиком, что является характерным признаком износа оборудования. Наиболее изношенным ткацким станком является № 11. Графики сигналов ускорений станков по оси Y представлены на рис. 2.

На рис. 2 ось абсцисс отражает время процесса, а ось ординат – амплитуды ускорения.

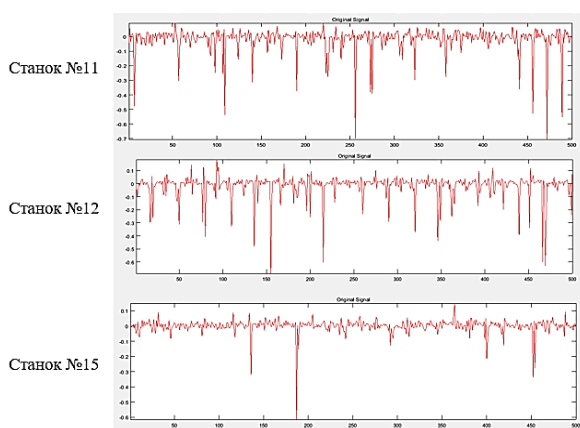


Рис. 2

На рис. 2 на графиках изображены ускорения по каждой из осей X, Y, Z, время снятия сигнала составляет 50 с. По оси ординат измеряется амплитуда ускорения в  $m/c^2$ . Из рис. 2 видно, что значения амплитуды ускорения заметно отличаются между станками, а также частота колебаний станка № 11 заметно больше, чем у станка №15, что в свою очередь показывает степень износа оборудования и определяет общее состояние ткацкого станка.

Данное программное обеспечение позволяет выявлять станки с изношенными механизмами, требующие ремонта. Однако, помимо определения текущего состояния ткацкого станка, важно определять износ оборудования заблаговременно, для этого необходимо определить скрытые дефекты механизмов, которые могут негативно сказаться на работоспособности элементов ткацкого станка в дальнейшем.

Данную задачу можно решить с помощью вейвлет-преобразования ускорений. Программное обеспечение позволяет строить графики вейвлет-преобразования по полученным сигналам виброускорения. Для проведения анализа по обнаружению скрытых дефектов необходимо провести вейвлет-анализ станков по оси, уровни амплитуд сигналов на которой значительно выше. В нашем случае это ось Y.

Для обработки сигнала, полученного при диагностировании ткацкого станка, используется программа "Matlab". Изначально данные загружаются в память программы, при помощи стандартных команд выделяется массив, описывающий сигнал, поступающий с закрепленного на станине датчика. С него поступает усиленный сигнал, который масштабируется.

В данной работе применяется разложение по вейвлетам Добеши на 4 уровня, т.к. последующие уровни имеют незначительные величины для проведения диагностического анализа. В табл. 1 приведены статистические характеристики 4-уровневой аппроксимации ускорений полученного сигнала.

В табл. 1 отображены среднее значение сигнала, максимальное, минимальное, диапазон и среднеквадратичное отклонение сигнала. После этого использовано разложение сигнала по вейвлетам Добеши.

Т а б л и ц а 1

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	-0,0166	0,184	-0,69	0,8707	0,093
№12	-0,0186	0,093	-0,71	0,799	0,087
№15	0,0003	0,149	-0,614	0,763	0,048



На рис. 3 отображены графики компонент, восстановленных по аппроксимирующим коэффициентам четвертого уровня разложения. Статистические характеристики

аппроксимирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	-0,0165	0,02	-0,07	0,094	0,0189
№12	-0,0186	0,011	-0,057	0,068	0,0172
№15	0,0003	0,028	-0,05	0,076	0,013

Для сравнения использовалось восстановление детализирующих коэффициентов первого и четвертого уровня разложения.

На рис. 4 отображены графики компонент, восстановленных по детализирующим

коэффициентам четвертого уровня разложения. Статистические характеристики детализирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений приведены в табл. 3.

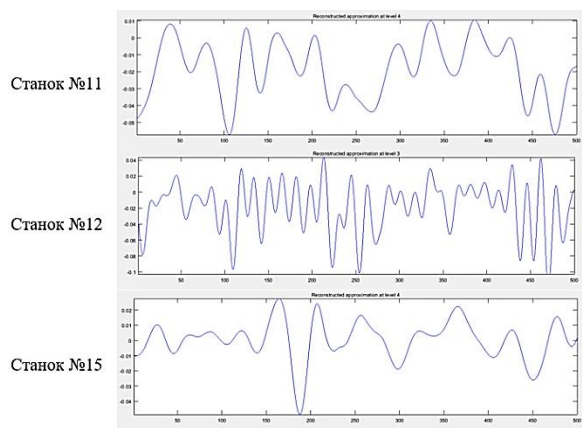


Рис. 3

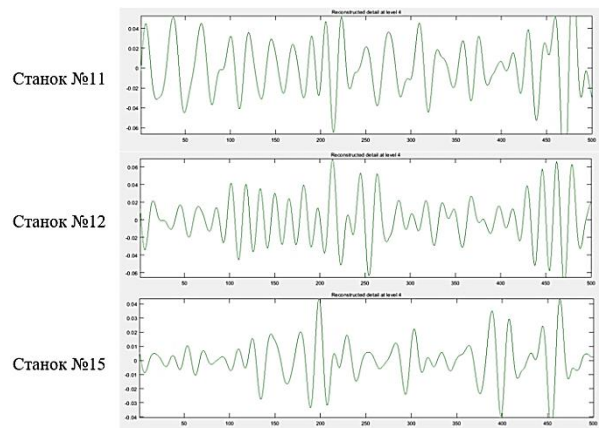


Рис. 4

Т а б л и ц а 3

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	0,00015	0,105	-0,116	0,2213	0,0288
№12	-0,00013	0,07	-0,074	0,1417	0,0249
№15	$-2,32 \cdot 10^{-5}$	0,044	-0,049	0,093	0,014

Вейвлет-анализ виброускорений с разложением колебательного процесса на аппроксимирующие и детализирующие уровни позволил определить статистические характеристики, подтверждающие наличие величин по диапазону и среднеквадратичному отклонению сравнимых с дефектным станком.

Анализ изменения данных по рассчитанным параметрам аппроксимирующих и детализирующих компонентов процесса показал, что у станка № 12 величины статистических характеристик сравнимы с

дефектным станком №11. Это характеризует наличие скрытых дефектов, которые не были отражены при анализе сигналов по статистическим характеристикам.

## В Ы В О Д Ы

Разработана диагностическая система ткацких станков, которая позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии ткацкого станка, с помощью данных 3D-ускорения, требуемых сроках диагностики, осмотра и ремонта, что



способствует переходу на новые формы организации ремонта. Разработанная система позволяет определять текущее состояние ткацкого станка и прогнозировать развитие дефектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков А.В., Могильный А.Н., Попов Л.Н., Привалов С.Ф. Производство технических сукон и сеток – СПб.: Недра, 1999.
2. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М.: Машиностроение, 1996.
3. Балицкий Ф.Я., Барков А.В., Баркова Н.А. и др. Вибродиагностика / Под ред. Клюева В.В. Неразрушающий контроль. – Том 7. Книга 2. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Меняйло И.Е., Сигачева В.В. Разработка технического обеспечения мониторинга работоспособности ткацкого станка // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 1. С. 123...126.
5. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Разработка встроенной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка СТБ // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 2. С. 130...133.
6. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Диагностирование и разработка системы эксплуатационного мониторинга ткацкого станка для производства сушильных сеток // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, №2. С. 237...242
7. Сигачева В.В., Маежов Е.Г. Повышение ресурсосбережения ткацких станков при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Серия 1 Естественные и технические науки. – 2019, № 4. С.86...88.
8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques. – 8 April 2019.
9. Свидетельство 2022664794. "Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком" : программа для ЭВМ / И.Е. Меняйло, В.В. Сигачева (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государст-

венный университет промышленных технологий и дизайна". № 2022664065 ; заявл. 25.07.22 ; опубл. 04.08.2022.

#### REFERENCES

1. Gusakov A.V., Mogilny A.N., Popov L.N., Privalov S.F.. Production of Technical Cloths and Nets – St. Petersburg: Nedra, 1999.
2. A.R. Shirman, A.B. Soloviev. Practical Vibration Diagnostics and Monitoring of the Mechanical Equipment State – Moscow.: Mashinostroenie, 1996.
3. Balitsky F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. Vibrodiagnostics / Ed. Klyueva V.V. Unbrakable control. - Volume 7. Book 2. - M.: Mashinostroenie, 2005.
4. I.E. Meniailo, V.V. Sigacheva. Development of Technical Support for Monitoring the Operability of the Loom // Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical science. 2021. No. 1. P. 123-126.
5. V.V. Sigacheva, I.E. Meniailo. Development of a Built-in System for Monitoring the Technical Condition of the Weaving Machine STB // Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical science. 2021. No. 2. P. 130-133.
6. Sigacheva V.V. Menyailo I.E. Diagnosis and development of a system for operational monitoring of a weaving machine for the production of dryer nets //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, No. 2. P. 237...242
7. Sigacheva V.V., Maezhov E.G. Increasing the resource saving of looms with the planned use of an automated diagnostic system of mechanisms // Bulletin of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Series 1 Natural and technical sciences. – 2019, No. 4. P.86...88.
8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques 8 April 2019
9. Certificate 2022664794. "Program for the communication module of a three-axis accelerometer with an information block": computer program / I.E. Menyailo, V.V. Sigacheva (RU) ; copyright holder "St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design". No. 2022664065; dec. 07/25/22; publ. 08/04/2022.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 31.10.22.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВИБРОСЕПАРАЦИИ  
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ СИТОВЫЕ ТКАНЫЕ ПОЛОТНА  
ПРИ ИХ МНОГОЭТАЖНОЙ КОМПОНОВКЕ**

**VIBROSEPARATION OF FINE-PARTICLE MATERIALS  
THROUGH SIEVE WOVEN CLOTHS  
UNDER THEIR MULTI-LAYERED ARRANGEMENT**

*В.А. ОГУРЦОВ, А.П. АЛЕШИНА, Ю.В. ХОХЛОВА, А.В. ОГУРЦОВ, А.Н. АРТЕМЬЕВ*

*V.A. OGURTZOV, A.P. ALESHINA, YU.V. KHOKHLOVA, A.V. OGURTZOV, A.N. ARTEMYEV*

**(Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru; annaricci89@mail.ru; hohjul@mail.ru;  
shishok85@mail.ru; antonites37@mail.ru

*В работе предлагается математическая модель сепарации мелкодисперсных сыпучих материалов на вибрирующих верхних и нижних ситовых тканых полотнах, выполненных переплетением шелковых или синтетических тонких нитей. Рассматривается аппарат периодического действия, который позволяет получить сыпучий материал (готовый товарный продукт) заданного фракционного состава, отделяя некондиционные крупные и мелкие частицы. В основу модели положен математический аппарат теории цепей Маркова. Учитывается многоэтажная компоновка сит, что позволяет исследовать особенности формирования слоя сыпучего материала на нижнем сите. Показано влияние процесса разделения на классы крупности на верхнем сите на процесс отсева некондиционных мелких частиц от товарного продукта на нижнем сите. Выполнены численные эксперименты по расчету кинетики сепарации частиц товарного продукта и мелких некондиционных частиц на двухситовом сепараторе. Определена зависимость общей эффективности работы сепаратора и степень засоренности готового продукта мелкими частицами от продолжительности отсева.*

*The mathematical model of fine bulk materials separation on vibrating upper and lower sieve woven fabrics made by weaving silk or synthetic thin thread was proposed. An apparatus of periodic action which makes it possible to obtain bulk material (finished commercial product) of a given fractional composition, separating substandard large and small particles, is considered. The model is based on the mathematical apparatus of Markov chains theory. A multistory arrangement of sieves is taken into account, which makes it possible to investigate the features of the bulk material layer formation on the lower sieve. The influence of the separation process into size classes on the upper sieve on the process of screening out substandard fine particles from the commercial product on the lower sieve is shown. Numerical experiments were performed to calculate the kinetics of separation of commercial product particles and small substandard particles on a two-sieve separator. The dependence of the overall efficiency of the separator and the degree of the finished product clogging with small particles on the duration of the sieving was determined.*

**Ключевые слова:** диффузия, сегрегация, цепи Маркова, вибрационный сепаратор, мелкодисперсный сыпучий материал, ситовые тканые полотна, эффективность отсева, засоренность товарных фракций.

**Keywords:** diffusion, segregation, Markov chains, vibrating separator, fine dispersed bulk material, sieve woven fabrics, screening efficiency, contamination of commodity fractions.

### Введение

Вибросепарация мелкодисперсных сыпучих материалов – это процесс разделения их на классы крупности путем просеивания через ситовые тканые полотна, изготовленные из шелковых или синтетических (полиэфирных, капроновых, полиамидных) нитей. Вибросепараторы с многоярусной компоновкой сит позволяют получить сыпучий материал заданного фракционного состава, отсекая из исходной сыпучей среды некондиционные крупные и мелкие частицы. Чаще всего предметом исследования является процесс, происходящий только на одном верхнем сите [1...6]. Существующие модели и методы расчета процесса вибросепарации не учитывают то обстоятельство, что слой сыпучего материала на нижних ситах формируется в течение всего времени процесса отсева [1], [3], [5].

### Методы исследования

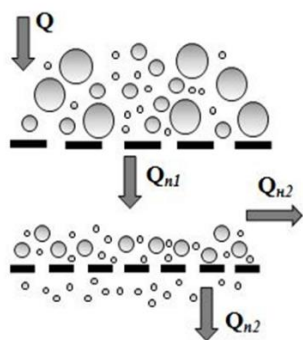


Рис. 1

Предлагается модель процесса вибросепарации мелкодисперсного материала на двухситовом классификаторе периодического способа действия, основанная на математическом аппарате теории цепей Маркова [1], [2], [7], [8]. Моделируются процессы классификации сыпучего материала на верхнем и нижнем сите. Учитывается влияние кинетики вибросепарации на верхнем сите на процесс отсева сыпучего

материала на нижнем сите. Схема распределения потоков мелкодисперсных материалов в вибросепараторе с двумя ситами с их поэтажным расположением показана на рис. 1.

Исходным сырьем, подаваемым на верхнее сито вибросепаратора, является смесь, состоящая из частиц трех классов крупности: некондиционных крупных, товарного продукта и некондиционных мелких. Их доли в исходном материале  $c_0, c_1, c_2$  соответственно. Масса  $M$  исходного материала размещается на верхнем сите. Под действием вибрации начинается процесс сепарации. Товарные и мелкие частицы выходят в подситовое пространство и попадают на нижнее сито. Их масса  $M_{п1}$  рассчитывается как

$$\begin{aligned} M_{п1} &= M_{п11} + M_{п21} = \\ &= M c_1 \varepsilon_{11} + M c_2 \varepsilon_{21}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $M_{п11}$  – массовый выход частиц товарной фракции на верхнем сите;  $\varepsilon_{11}$  – извлечение частиц товарной фракции на верхнем сите;  $M_{п21}$  – массовый выход мелких частиц на верхнем сите;  $\varepsilon_{21}$  – извлечение мелких частиц на верхнем сите. На нижнем сите в подситовой продукт выходят частицы мелкой фракции. Уравнение массового баланса на нижнем сите имеет вид:

$$M_{п1} = M_{н2} + M_{п2}, \quad (2)$$

где  $M_{н2}$  – масса полученного товарного продукта;  $M_{п2}$  – масса некондиционных частиц, выведенных в подситовое пространство.

Масса товарного продукта рассчитывается как

$$\begin{aligned} M_{н2} &= M c_1 \varepsilon_{11} + \\ &+ M c_2 \varepsilon_{21} (1 - \varepsilon_{22}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{22}$  – извлечение мелких частиц на нижнем сите.

Эффективность сепарации всего аппарата рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{c_1 \varepsilon_{11} + c_2 \varepsilon_{21} (1 - \varepsilon_{22})}{c_1 + c_2}. \quad (4)$$

Рассчитать засоренность готового товарного продукта мелкими частицами можно по формуле:

$$\gamma = \frac{c_2 \varepsilon_{21} (1 - \varepsilon_{22})}{c_1 \varepsilon_{11} + c_2 \varepsilon_{21} (1 - \varepsilon_{22})}. \quad (5)$$

На верхнем сите слой сыпучего материала разделен на  $m$  подслоев высотой  $\Delta x$ . На нижнем сите слой материала разделен на  $n$  подслоев (рис.2).

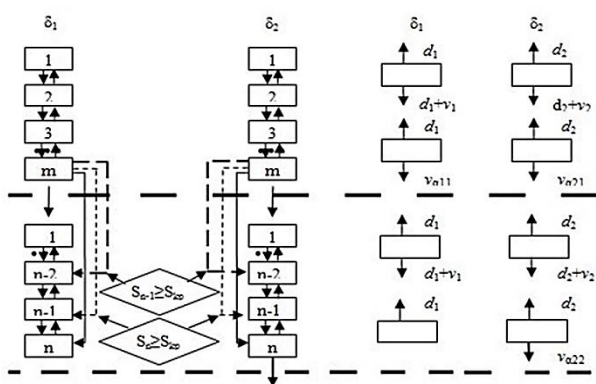


Рис.2

Число подслоев  $n$  определится как

$$n = m(c_1 + c_2). \quad (6)$$

Полный набор вероятностей  $S_i$  нахождения частиц в  $i$ -й ячейке образует вектор-

столбцы состояния для частиц товарного продукта и мелких частиц, которые определяются как

$$S_1 = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{12} \\ \dots \\ S_{1m} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} S_{21} \\ S_{22} \\ \dots \\ S_{2n} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Продолжительность рассева  $t_k = (k-1)\Delta t$ , где  $k$  – номер перехода,  $\Delta t$  – время одного перехода.

Рекуррентные матричные равенства, описывающие изменение состояния ячеек цепи на верхнем и нижнем сите для частиц товарной фракции, представляют собой выражения:

$$S_{11}^{k+1} = P_{11} S_{11}^k, \quad (9)$$

$$S_{12}^{k+1} = P_{12} S_{12}^k, \quad (10)$$

где  $P_{11}$  и  $P_{12}$  – матрицы переходных вероятностей для частиц товарного продукта на верхнем и нижнем сите.

Примем число ячеек верхнего слоя  $m=5$ , а нижнего слоя  $n=4$ . Тогда матрицы переходных вероятностей примут вид:

$$P_{11} = \begin{bmatrix} 1 - v_1 - d_1 & d_1 & 0 & 0 & 0 \\ v_1 + d_1 & 1 - v_1 - 2d_1 & d_1 & 0 & 0 \\ 0 & v_1 + d_1 & 1 - v_1 - 2d_1 & d_1 & 0 \\ 0 & 0 & v_1 + d_1 & 1 - v_1 - 2d_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & v_1 + d_1 & 1 - d_1 - v_{a11} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$P_{12} = \begin{bmatrix} 1 - v_1 - d_1 & d_1 & 0 & 0 \\ v_1 + d_1 & 1 - v_1 - 2d_1 & d_1 & 0 \\ 0 & v_1 + d_1 & 1 - v_1 - 2d_1 & d_1 \\ 0 & 0 & v_1 + d_1 & 1 - d_1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Изменение состояния ячеек цепи на верхнем и нижнем сите для мелких частиц описывается матричными равенствами:

$$S_{21}^{k+1} = P_{21} S_{21}^k, \quad (13)$$

$$P_{21} = \begin{bmatrix} 1 - v_2 - d_2 & d_2 & 0 & 0 & 0 \\ v_2 + d_2 & 1 - v_2 - 2d_2 & d_2 & 0 & 0 \\ 0 & v_2 + d_2 & 1 - v_2 - 2d_2 & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & v_2 + d_2 & 1 - v_2 - 2d_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & v_2 + d_2 & 1 - d_2 - v_{\alpha 21} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$P_{22} = \begin{bmatrix} 1 - v_2 - d_2 & d_2 & 0 & 0 \\ v_2 + d_2 & 1 - v_2 - 2d_2 & d_2 & 0 \\ 0 & v_2 + d_2 & 1 - v_1 - 2d_2 & d_2 \\ 0 & 0 & v_2 + d_2 & 1 - d_2 - v_{\alpha 22} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Безразмерные диффузионные вероятности  $d_1$  и  $d_2$ , сегрегационные составляющие  $v_1$  и  $v_2$  для товарных и мелких частиц на верхнем и нижнем сите связаны с параметрами классического дисперсионного уравнения соотношениями:

$$d_i = \frac{D_i \Delta t}{\Delta x^2}, \quad (17)$$

$$v_i = \frac{V_i \Delta t}{\Delta x}, \quad (18)$$

где  $D_i$  – размерный диффузионный коэффициент;  $V_i$  – размерный сегрегационный коэффициент, которые считаем для каждой фракции постоянными величинами процесса сепарации конкретного сыпучего материала при определенных режимах вибрации сепаратора.

Вероятности выхода товарных и мелких частиц через верхнее и нижнее сито  $v_{\alpha 11}$ ,  $v_{\alpha 21}$  и  $v_{\alpha 22}$  зависят от параметров вибрации сепаратора, соотношения размеров проходных частиц и отверстия сита, характеристик ситовых полотен, материалов нитей и способов их переплетения и могут быть определены расчетным путем [2].

Выход товарных и мелких частиц в подситовое пространство на каждом временном переходе определяется как:

$$q_{11}(k) = S_{m11}^k v_{\alpha 11}, \quad (19)$$

$$S_{22}^{k+1} = P_{22} S_{22}^k, \quad (14)$$

где  $P_{21}$  и  $P_{22}$  – матрицы переходных вероятностей для мелких частиц на верхнем и нижнем сите, которые примут вид:

$$q_{21}(k) = S_{m21}^k v_{\alpha 21}, \quad (20)$$

$$q_{22}(k) = S_{n22}^k v_{\alpha 22}. \quad (21)$$

Кинетика сепарации товарных и мелких частиц на верхнем и нижнем сите рассчитывается по формулам:

$$\varepsilon_{11}(k) = \sum_{k=1}^k q_{11}(k), \quad (22)$$

$$\varepsilon_{21}(k) = \sum_{k=1}^k q_{21}(k), \quad (23)$$

$$\varepsilon_{22}(k) = \sum_{k=1}^k q_{22}(k). \quad (24)$$

Переходы частиц из верхнего слоя в нижний описываются соотношениями:

$$S_{n12}^k = S_{m11}^k v_{\alpha 11}, \quad (25)$$

$$S_{n22}^k = S_{m21}^k v_{\alpha 21}. \quad (26)$$

Товарные и мелкие частицы попадают в нижнюю ячейку, которая находится на нижнем сите. Частицы могут переполнить ячейку. Выполняется неравенство  $S_n^k = S_{n12}^k + S_{n22}^k \geq S_{кр}$ . Тогда модель предусматривает перенос подачи частиц в предпоследнюю ячейку нижнего слоя. Если она тоже переполняется, то частицы пере-

носятся в ячейку, находящуюся выше предпоследней.

#### Результаты и обсуждение

На рис. 3-а,б,в приведены результаты численных экспериментов с моделью, которые иллюстрируют кинетику сепарации мелких и товарных частиц на верхнем и нижнем сите. На рис. 3-г показаны общая эффективность работы двухситового сепаратора периодического действия и засоренность товарной фракции мелкими некондиционными частицами.

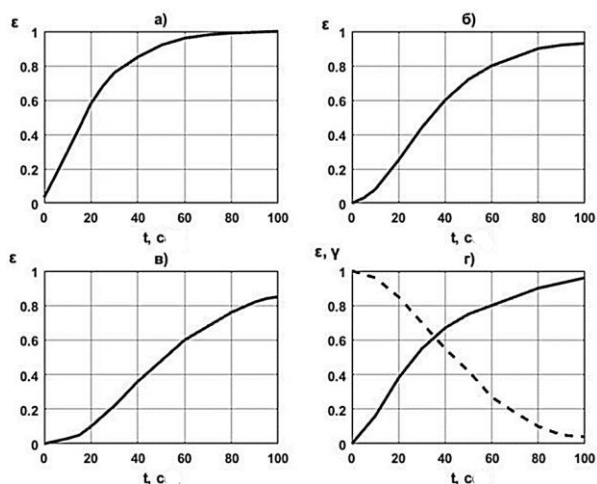


Рис. 3

Различные значения стохастических параметров модели, которые определяются согласно [1], [2], соответствуют различным режимам вибровоздействия сепаратора на сыпучую среду.

## ВЫВОДЫ

Модели и методики расчета процесса вибросепарации на одном сите не могут использоваться для расчета процессов многоситового классификатора. Технологические и конструктивные параметры, выбранные по этим моделям, могут быть неэффективными для процесса отсева на нижних ситах. Предложенная модель с помощью вероятностных коэффициентов учитывает влияние кинетики сепарации на верхнем сите на процесс извлечения мелких некондиционных частиц из товарного продукта на нижнем сите, свойства сыпучего материала, параметры вибрации сепаратора. Особую роль играет вероятность выхода час-

тиц в подситовое пространство, которая зависит от материала ситового полотна, изготовлено ли оно из шелковых или капроновых, полиэфирных, полиамидных мононитей. На процесс проникновения частиц через сито влияет способ переплетения нитей ситового полотна (саржевое, ажурное, полужелтое ажурное, полотняное и комбинированное), а также толщина нити и расстояния между нитями основы и утка. Учет многообразия факторов, влияющих на вибросепарацию мелкодисперсных материалов, повышает точность прогностических расчетов параметров процесса для аппаратов с поэтажной компоновкой сит.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мизонов В.Е., Огурцов В.А. и др. Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет // Ивановский государственный энергетический университет, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет. – Иваново, 2010.
2. Огурцов В.А., Алешина А.П., Гриценко М.А., Огурцов А.В. Определение вероятности проникновения частиц мелкодисперсного материала через отверстия ситового тканого полотна при вибросепарации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 262...265.
3. Вайсберг Л.А., Картавий А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005.
4. Алоян Р.М., Федосов С.В., Мизонов В.Е. Теоретические основы математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. – Иваново: "ПресСто", 2011.
5. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. – Белгород: "Везелица", 2007.
6. Ferrara G. Modelling of screening operations. Intern // J. of Mineral Processsing. – 1988. V. 22. № 1. P. 193...222.
7. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – V.85, №6, 2004. P.1143...1168;
8. Mizonov V., Mitrofanov A., Ogurtsov A., Tannous K. Modeling of Particle Concentration Distribution in a Fluidized Bed by Means of the Theory of Markov Chains // Particulate Science and Technology: An International Journal. –Vol. 32. Issue 2, 2014. P.171...178.

## REFERENCES

1. Mizonov V.E., Ogurtsov V.A. et al. Particle separation processes in a vibro-liquefied layer: modeling,

optimization, calculation // GOU VPO IGEU”, IGASU. – Ivanovo, 2010. – 192 s.

2. Ogurtsov V.A., Aleshina A.P., Gritzenko M.A., Ogurtsov A.V. Determination of probability of fine-particle materials penetration through openings of cloth sieve during vibratory separation // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 262...265.

3. Vaisberg L.A., Kartavy A.N., Korovnikov A.N. Screening surfaces of screens. Structures, materials, application experience /Ed. By L.A. Vaisberg. – St. Petersburg, VSEGEI Press, 2005.

4. Alojan R.M., Fedosov S.V., Mizonov V.E. Theoretical foundations of mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the production of building materials. – Ivanovo: “PresSto”, 2011.

5. Bogdanov V.S., Il'in A.S., Semikopenko I.A. Processes in the production of construction materials.. – Belgorod: “Vezelitsa”, 2007.

6. Ferrara, G. Modelling of screening operations. Intern // J. of Mineral Processing. - 1988. V. 22. - № 1, P. 193...222.

7. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – V.85, No.6, 2004. P.1143...1168;

8. Mizonov, V., Mitrofanov, A., Ogurtsov, A., Tannous, K. Modeling of Particle Concentration Distribution in a Fluidized Bed by Means of the Theory of Markov Chains // Particulate Science and Technology: An International Journal, –Volume 32, Issue 2, 2014. P.171...178.

Рекомендована кафедрой архитектуры и строительных материалов. Поступила 08.11.22.

УДК 004.4

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_171

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ**

**ON THE POSSIBILITIES OF SIMULATION AND AUTOMATED  
TECHNOLOGICAL SYSTEMS ANALYSIS  
OF TEXTILE PRODUCTION BASED ON  
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS**

*В.В. ТЮТИКОВ<sup>1</sup>, О.В. БЛИНОВ<sup>1</sup>, С.Г. СТАВРОВ<sup>1</sup>, Dr. OBEID<sup>2</sup>, С.В. ЕРШОВ<sup>3</sup>*

*V.V. TYUTIKOV, O.V. BLINOV, S.G. STAVROV, Dr. OBEID, S.V. ERSHOV*

**(Ивановский государственный энергетический университет, Россия,  
SME Data Science – EMEA PlutosTech UG, Germany,  
Ивановский государственный политехнический университет, Россия)**

**(Ivanovo State Power University, Russia,  
SME Data Science – EMEA PlutosTech UG, Germany  
<sup>3</sup>Ivanovo State Polytechnical University, Russia)**

E-mail: tvv@ispu.ru; e-mail: oleg\_blinov@ro.ru; e-mail: drob@plustotech.com

*Современной тенденцией развития промышленного производства является использование программируемых логических контроллеров (ПЛК) для управления производственными процессами, в том числе эта тенденция наблюдается и в текстильной промышленности. При проектировании подобных систем для управления технологическими процессами, в части разработки программного обеспечения, на производительность и качество работ специалиста в значительной степени влияют возможности используемого программного инструмента. Для выполнения подобных работ существует математическое обеспечение, предназначенное для моделирования систем управления и комплексы для разработки программного обеспечения*

*ПЛК, проблемно-ориентированных на решение поставленных технологических задач. Однако это, как правило, два независимых продукта. При этом часто могут возникать задачи проверки кода для ПЛК на полноценной математической модели системы управления, включающей математическое описание не только объекта управления, но исполнительного механизма, измерительного преобразователя и других элементов системы с последующим анализом качества управления. На сегодняшний день такие пакеты существуют, но имеют значительную стоимость или недостаточный функционал. В данной статье рассмотрены вопросы интеграции систем программного и математического обеспечения, позволяющих проводить моделирование и исследование функционирования программного обеспечения автоматизированных систем управления тепловыми процессами на стадии разработки программного обеспечения ПЛК.*

*The modern trend in the development of industry is the use of programmable logic controllers (PLC) to operate production processes, including this trend is also observed in the textile industry. When designing such systems for process control, in terms of software development, the productivity and quality of a specialist work are largely influenced by the capabilities of the software tool used. To perform such work, there is a mathematical software designed to simulate control systems and complexes for the development of PLC software problem-oriented to solve the technological problems set. However, these are usually two independent products. In this case, the problems of checking the code for the PLC on a full-fledged mathematical model of the control system, including a mathematical description of not only the control object, but the actuator, measuring transducer and other elements of the system, with subsequent analysis of the quality of control, can often arise. To date, such packages exist, but have a significant cost or insufficient functionality. This article discusses both the integration of software and software systems that allow modeling and research of the software functioning for automated control systems at the stage of developing PLC software.*

**Ключевые слова:** моделирование, программное обеспечение, OPC-сервер, программируемый логический контроллер, VisSim, ПЛК SP PLCWinN, CODESYS, Matrikon OPC, проектирование систем автоматизации.

**Keywords:** simulation, software, OPC server, programmable logic controller, VisSim, PLC SP PLCWinN, CODESYS, Matrikon OPC, automation system design.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) широко применяются в сферах промышленной автоматизации разнообразных технологических процессов. Промышленные ПЛК программируются на языках стандарта МЭК 61131-3. На стадии разработки программного обеспечения для ПЛК часто возникают задачи апробации разработанной программы с учетом свойств объекта управления. Одним из способов апробации программного обеспечения ПЛК является проверка работоспособности кода,

используя методы имитационного моделирования или методы модельно-ориентированного подхода в разработке программного обеспечения ПЛК.

Есть ряд программных продуктов, которые можно использовать для таких целей, например, среда MATLAB, разработанная компанией MathWorks [1] – MATLAB это высокоуровневый язык технических расчетов, интерактивная среда разработки алгоритмов и современный инструмент анализа данных. MATLAB по сравнению с тра-



диционными языками программирования (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) позволяет на порядок сократить время решения типовых задач и значительно упрощает разработку новых алгоритмов. Но существуют определенные ограничения на использования данного продукта – это большая стоимость пакета и требования к ресурсам ЭВМ. На рынке ПО присутствуют еще ряд подобных систем, например, VisSim [2]. Это визуальный язык программирования встраиваемых микроконтроллеров, предназначенный для проектирования, базирующегося на моделях динамических систем. Данная среда имеет развитый графический интерфейс, и при этом студенческая версия – доступна бесплатно. Также есть и другие пакеты, поддерживающие технологию OPC, например, OpenModelica [3], [4]. В данной работе рассматривается среда VisSim.

Наряду с инструментами для моделирования сложных динамических систем (примеры которых были рассмотрены выше) существуют программные средства для разработки программного обеспечения программируемых логических контроллеров, например, CODESYS – инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации. Основой комплекса CODESYS является среда разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК). CODESYS распространяется бесплатно и может быть без ограничений установлен на нескольких рабочих местах. В составе CODESYS есть виртуальный контроллер, представляющий собой программную эмуляцию реального контроллера, что позволяет создавать проекты (в том числе с визуализацией), проводить компиляцию кода (поддерживаются все языки программирования стандарта МЭК 61131-3) и проверять его работоспособность в режиме эмулирования так, как если бы он выполнялся в реальном контроллере, за исключением привязки переменных к реальным выходам [5].

В настоящее время основным стандартом межпрограммного обмена данными в сфере промышленной автоматизации является OPC (OLE for Process Control). OPC-

технологии позволяют организовать информационный обмен данными между программами, поддерживающими данный стандарт. На основе этого стандарта организуется межпрограммное взаимодействие между средой программирования ПЛК CODESYS (виртуальным контроллером) и VisSim [6], [7]. Структурная схема взаимодействия приведена на рис. 1.

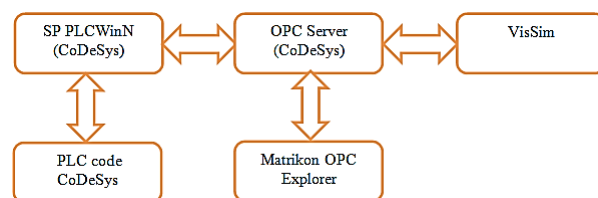


Рис. 1

В рамках единого комплекса задействуются следующие программные средства: система имитационного моделирования Vissim (для построения модели объекта регулирования); VisSim/OPC – это клиент OPC (OLE for process control), который может быть подключен к любому серверу OPC. Используя VisSim/OPC, мы можем обмениваться данными между VisSim и любым OPC-сервером с помощью блоков OPC Read и OPC Write; система класса PC-based controller (для программной реализации алгоритмов управления на языках программирования промышленных контроллеров) 3S-Smart Software® CODESYS®, включая PC-эмулятор ПЛК SP PLCWinN (при этом может быть использован и реальный контроллер) и OPC-сервер, а также Matrikon OPC Explorer [4], необходимый для контроля правильности настройки данных для межпрограммного обмена.

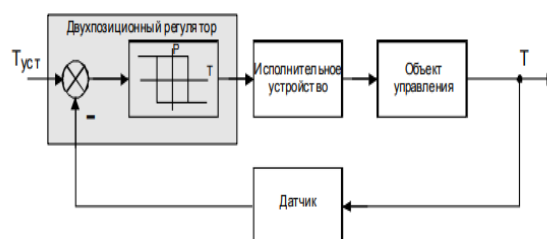


Рис. 2

Проверка работы комплекса была проведена на примере эмулирования работы

системы управления температурой теплоносителя с помощью 2-позиционного регулятора (рис. 2).

Функциональная схема системы регулирования температуры теплоносителя состоит из регулятора, исполнительного устройства, объекта управления (система теплоснабжения здания) и датчика (рис. 3).

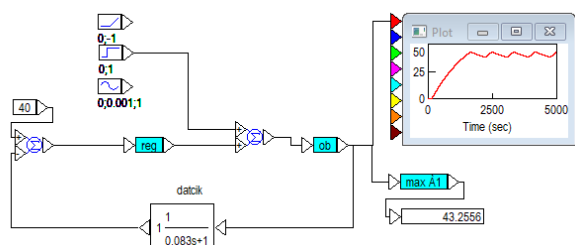


Рис. 3

На рис.3 представлена обобщенная модель системы управления температурой теплоносителя в обратном трубопроводе, моделирование которой было выполнено в среде VisSim. Здесь "reg" – модель двухпозиционного регулятора, "ob" – объект управления. Датчик температуры представлен аperiодическим звеном первого порядка.

В "reg" используется блок relay, релейный регулятор температуры теплоносителя, представляющий собой логический элемент заданной нечувствительности. Регулятор сравнивает текущую температуру T, которая измеряется с помощью датчика, с заданной (из суточного графика), и в зависимости от знака рассогласования формирует управляющее воздействие. Блок "ob" – моделирует работу объекта управления. Объект управления моделируется с помощью аperiодического звена (блок transfer Function) и блока timeDelay – временной задержки, тем самым моделируя запаздывание объекта управления. В качестве выходной величины используется температура теплоносителя (данная переменная является переменной OPC сервера, значение которой поступает в качестве обратной связи в SP PLCWinN), а входной величиной является значение температуры, которое необходимо поддерживать. Результаты моделирования приведены на рис. 3 (окно PLOT).

Моделирование автоматизированной системы управления теплоснабжением технологической системы [10] с регулятором, реализованном на ПЛК, выполнено в комплексе программ Vissim  $\longleftrightarrow$  OPC сервер  $\longleftrightarrow$  SP PLCWinN - 3S-Smart Software® CODESYS®. Модель представлена на рис. 4.

Управляющее воздействие формируется посредством полученного значения из блока OPC Read, который считывает данные с сервера OPC. В свою очередь в OPC-сервер эти данные поступают из виртуального контроллера SP PLCWinN, рассчитываемые программой управления. Блок Write в Vissim OPC формирует обратную связь путем передачи данных в OPC-сервер и считывания этих данных из OPC-сервера управляющей программой ПЛК SP PLCWinN, реализующей двухпозиционный закон регулирования.

Таким образом осуществляется межпрограммное взаимодействие между VisSim – средой для моделирования динамических систем и виртуального ПЛК SP PLCWinN и CODESYS – средой разработки программного обеспечения для ПЛК. Также на этапе настройки межпрограммного взаимодействия используется OPC-сервер Matrikon OPC Explorer, необходимый для контроля в режиме реального времени за переменными, участвующими в передаче данных между задействованными программными средами.

На рис. 4 на экране PLOT показаны графики процесса регулирования температуры теплоносителя в системе тепловой обработки капиллярно-пористого текстильного материала, полученные при моделировании системы в среде Vissim (синий график) и при моделировании системы управления, путем интеграции VisSim, ПЛК SP PLCWinN, и CODESYS.

Небольшое смещение графика связано с задержкой передачи данных в OPC сервере, что может больше приближать имитационную модель к реальной системе.

Корреляция графиков подтверждает работоспособность предложенной методики апробации и исследования разработанного программного обеспечения для ПЛК с

помощью интегрированного программного обеспечения, включающего среду Codesys

и среду моделирования динамических систем Vissim.

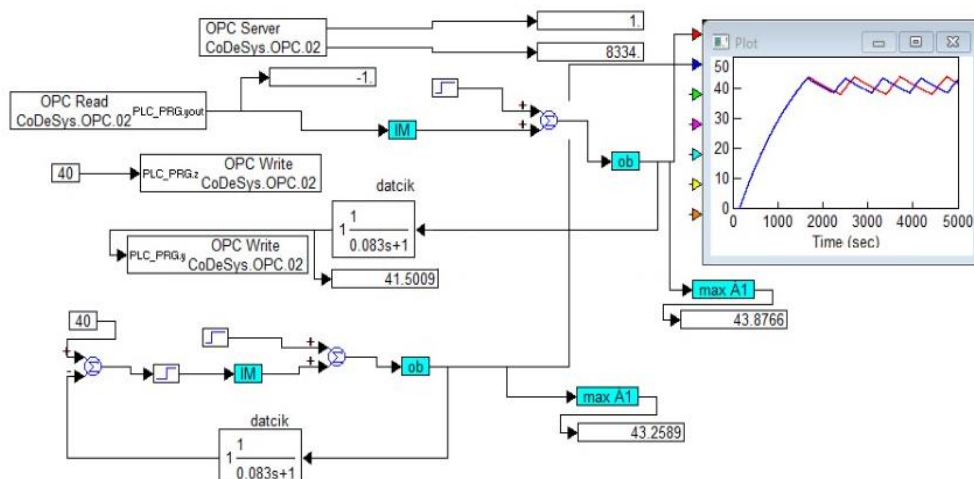


Рис. 4

Сферы применения разработанной технологии:

- разработка прототипов АСУ ТП промышленных предприятий, включая построение моделей процессов, разработку технологических программ и человеко-машинного интерфейса [10], [11]. Благодаря тому, что большинство современных ПЛК программируется на языках МЭК 61131-3, программы, составленные для PLCWinNT, после минимальных изменений и "привязки" к процессу можно загружать в реальные контроллеры [7], [8];

- разработка программных симуляторов уже имеющихся АСУ ТП для тренинга персонала [8], [9].

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа и исследования вопросов, относящихся к области программного и математического обеспечения технических средств систем управления тепловыми технологическими процессами в сфере текстильной и легкой промышленности, предложена методика интеграции средствами OPC-серверов Codesys и Matrikon OPC Explorer системы VisSim, используемой для моделирования динамических систем и среды 3S-Smart Software® CODESYS®, включая PC-эмулятор ПЛК SP PLCWinN, которая предназначена для

разработки программного обеспечения промышленных контроллеров. По предложенной методике выполнено моделирование программного обеспечения для ПЛК на примере разработки системы управления с релейным законом регулирования.

Апробация предложенной методики интеграции системы VisSim и среды 3S-Smart Software® CODESYS®, выполненной на основе OPC-серверов, подтверждает ее функциональность и предоставляет возможность для разработчиков программного обеспечения систем управления тепловыми процессами использовать более гибкие инструменты при решении проектных задач в части программного их математического обеспечения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ch.mathworks.com>, свободный. – Загл. с экрана.
2. OpenModelica [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openmodelica.org>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. – 3S Smart Software Solution GmbH. Русская редакция: ПК Пролог, 2006.
4. MatrikonOPC [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.matrikonopc.com>, свободный.
5. VisSim в России [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vissim.nm.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

6. *Матвеева А.А., Ставров С.Г., Блинов О.В.* Исследование программного обеспечения ПЛК с помощью среды Codesys и Vissim. Энергия-2022. Семнадцатая Всероссийская (девятая Международная) научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1. – Иваново, 2022. Изд-во: Ивановский государственный энергетический университет.

7. *Капустина А.И., Блинов О.В.* Интеграция систем программного и математического обеспечения для моделирования и исследования автоматизированных систем управления. Энергия-2021. Шестнадцатая Всероссийская (восьмая Международная) научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1. – Иваново, 2021. Изд-во: Ивановский государственный энергетический университет.

8. *Зюбин В.Е.* Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005, №11. С.31...35.

9. *Большаков О.А., Рыбаков А.В.* Автоматное моделирование систем автоматизации с реализацией на ПЛК // Автоматизация в промышленности. – 2013, №10. С.60...64.

10. *Горнаков И.П., Калинин Е.Н.* Тепловая и гидродинамическая модели процесса концентрирования технологического раствора в поле действия центробежных сил // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №6. С.151...155.

11. *Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С.* Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен – средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С. 229...234.

## REFERENCES

1. MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink [electronic resource]. – Access mode: <https://ch.mathworks.com>, free. – Screen title.

2. OpenModelica [электронный ресурс]. – Access mode: <https://openmodelica.org>, free. – Screen title.

3. User's Guide to PLC programming in CoDeSys 2.3. – 3S Smart Software Solution GmbH. Russian edition: PC Prolog, 2006.

4. MatriconOPC [электронный ресурс]. – Access mode: <https://www.matrikonopc.com>, free.

5. VisSim в России [электронный ресурс]. – Access mode: <https://vissim.nm.ru>, free. – Screen title.

6. *Matveeva A.A., Stavrov S.G., Blinov O.V.* Exploring PLC software with Codesys and Vissim. Energy-2022. Seventeenth All-Russian (ninth international) scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. Volume 1. Ivanovo, 2022. Publisher: Ivanovo State Power Engineering University.

7. *Kapustina A.I., Blinov O.V.* Integration of software and software systems for modeling and research of automated control systems. Energy-2021. Sixteenth All-Russian (Eighth International) Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Volume 1. Ivanovo, 2021. Publisher: Ivanovo State Energy University.

8. *Zyubin V.E.* PLC programming: IEC 61131-3 languages and possible alternatives // "Industrial ACS and controllers". 2005. No. 11. P. 31...35.

9. *Bolshakov O.A., Rybakov A.V.* Automatic modeling of automation systems with implementation on the PLC // Automation in industry. – 2013, No. 10. P.60...64.

10. *Gornakov I.P., Kalinin E.N.* Thermal and hydrodynamic models of the process of concentrating a technological solution in the field of action of centrifugal forces // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - Ivanovo: IGTA, 2012. - No. 6. P.151...155.

11. *Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S.* Mathematical modeling and computational prediction of viscoelasticity of geotextile nonwoven fabrics - a means of assessing their functional and operational purpose // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, No. 4. P. 229...234.

Рекомендована кафедрой автоматизации технологических процессов ИГЭУ. Поступила 11.11.22.

УДК 677.057+614.8

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_177

**К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ON THE ISSUE OF ENSURING FIRE SAFETY  
OF ENTERPRISES TEXTILE INDUSTRY**

*О.Г. ЦИРКИНА, В.Г. СПИРИДОНОВА, А.Х. САЛИХОВА, С.А. СЫРБУ*

*O.G. TSIRKINA, V.G. SPIRIDONOVA, A.KH. SALIKHOVA, S.A. SYRBU*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)**

**(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters)**

E-mail: ogsirkina@mail.ru; nika.spiridonowa@yandex.ru; salina\_77@mail.ru; syrbye@yandex.ru

*Исследование посвящено изучению пожароопасных свойств текстильных материалов и разработке рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности процессов производства и складского хранения сырья, готовых тканей и изделий из них. Приведена методика определения кислородного индекса, применяемая для широкого спектра материалов, в том числе тканей, выработанных из хлопковых, льняных и полиэфирных волокон, с целью выявления условий, при которых текстильные материалы теряют способность к горению. На основании проведенных исследований рассчитана скорость выгорания тканей для экспериментально определенных значений кислородного индекса. Приведены данные термического анализа указанных объектов исследования для выявления особенностей термоокислительной деградации волокнистых материалов в условиях высоких температур при доступе кислорода воздуха. Экспериментально доказано, что тканые материалы и изделия из них легко воспламеняются, быстро горят с выделением большого количества дыма, что связано со структурными особенностями природных целлюлозных волокон, обеспечивающих присутствие большого количества кислорода в порах волокна и наличием воздушных пустот, следствием чего является возможность горения без доступа воздуха. Наличие в составе ткани синтетической составляющей сопровождается горением каплепадением, что является дополнительным источником распространения пламени. Полученные результаты представляют интерес с теоретической и практической точки зрения, поскольку данные по пожароопасным свойствам текстильных волокон и материалов позволяют спрогнозировать развитие пожара и усовершенствовать противопожарные мероприятия на предприятиях текстильной промышленности.*

*The research is devoted to the study of the fire-hazardous properties of textile materials and the development of recommendations for ensuring fire safety of production processes and storage of raw materials, finished fabrics and products from them. A method for determining the oxygen index is given, which is used for a wide range of materials, including fabrics made from cotton, linen and polyester fibers, in order to identify conditions under which textile materials lose their ability to burn. Based on the conducted studies, the rate of tissue burnout was calculated for experimentally determined values of the oxygen index. The data of thermal analysis of the specified objects of research are presented to identify the features of the thermo oxidative destruction of fibrous materials in high temperature conditions with access to oxygen in the air. It has been experimentally proved that woven materials and products made from them are easily ignited, burn quickly with the release of a large amount of smoke, which is due to the structural features of natural cellulose fibers, which ensure the presence of a large amount of oxygen in the fiber pores and the presence of air voids, which results in the possibility of burning without air access. The presence of a synthetic component in the fabric accompanies burning by fall of melt droplets, which is an additional source of flame propagation. The results obtained are of interest from a theoretical and practical point of view, since the data on the fire-hazardous properties of textile fibers and materials make it possible to predict the development of fire and improve fire-fighting measures at textile industry enterprises.*

**Ключевые слова:** пожар, пожарная безопасность, текстильный материал, кислородный индекс, термический анализ.

**Keywords:** fire, fire safety, textile material, oxygen index, thermogravimetric analysis.

#### *Введение*

Предприятия текстильной промышленности характеризуются наличием большого количества волокнистых веществ, органической пыли и мелких волокон сырья, оседающих на оборудовании и конструкции зданий. В связи с этим при возникновении пожаров на текстильных предприятиях отмечается быстрое распространение огня, высокая степень задымления и интенсивный рост температуры внутри горящих помещений.

Наибольшую пожарную опасность представляют волокнистые вещества растительного происхождения – хлопок и лен, способные в разрыхленном состоянии интенсивно гореть открытым пламенем. В спрессованном виде (в кипах) хлопковые и льняные волокна горят медленнее, однако огонь проникает внутрь кип, что осложняет действия по тушению пожара. Помимо этого, значительную опасность представляют и материалы из синтетических

волокон, которые обладают свойством термопластичности и плавятся при горении с образованием раскаленных капель.

На территории Ивановской области функционирует значительное число предприятий текстильной и швейной промышленности. Несоблюдение требований пожарной безопасности способно привести к возникновению крупных пожаров, сопровождающихся гибелью и травмированием людей, а также значительным материальным ущербом. 03 апреля 2017 г. в г. Иваново произошел крупный пожар в цехе по производству тканевых перчаток. Из производственных зданий было эвакуировано 90 человек. Площадь возгорания составила 600 м<sup>2</sup>. Погибли двое пожарных. 17 июля 2017 г. в 10.40 часов стало известно о возгорании в трехэтажном кирпичном здании текстильного предприятия в г. Наволоки. Огнем уничтожены производственные объекты на площади 400 м<sup>2</sup>. 18 мая 2018 г. произошел крупный пожар на текстильной

фабрике в г. Кинешма Ивановской области. Площадь возгорания составила 600 м<sup>2</sup>. 20 февраля 2018 г. на швейной фабрике в г. Иваново произошел пожар, в результате которого погиб один человек. Во всех случаях материальный ущерб оценивался от 30 до 500 миллионов рублей [1].

Авторами работ [2], [3] выделены проблемные вопросы, связанные с нарушениями требований пожарной безопасности на предприятиях текстильной промышленности, в частности, применение нормативно-правовых актов, вступивших в силу после введения объекта защиты в эксплуатацию, размеры эвакуационных путей и выходов, исполнение противопожарных преград и их заполнение. Однако не обозначена еще одна серьезная проблема – возможность количественной оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, перерабатывающихся и хранящихся на территории предприятий.

Статистика пожаров на предприятиях текстильной и швейной промышленности свидетельствует об актуальности вопроса, связанного с изучением пожароопасных свойств волокнистых материалов и разработкой рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности процессов производства и складского хранения сырья, готовых тканей и изделий из них.

#### Методы исследования

Практический интерес представляет изучение поведения хлопковых, льняных и полиэфирных волокон, а также тканей, выработанных из них, в условиях доступа кислорода воздуха. Для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, где вырабатываются и хранятся изделия из целлюлозных и синтетических волокон, необходимо знать условия, при которых текстильные материалы не будут способны гореть. Данному требованию соответствует кислородный индекс (КИ).

Сущность метода определения кислородного индекса заключается в нахождении минимальной концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси, при которой наблюдается самостоятельное горение вертикально расположенного образца, зажигаемого сверху. В работах [4], [5]

рассмотрена возможность использования данного метода применительно к тканям. В работе [6] отмечалось, что для текстильных материалов отсутствует гостированная методика определения кислородного индекса, поэтому исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 21793-76 "Пластмассы. Метод определения кислородного индекса".

Принципиальная схема установки для определения кислородного индекса представлена на рис.1 – схема установки для определения кислородного индекса. Установка включает в себя следующие элементы: 1 – вентиль предварительной регулировки; 2 – вентиль точной регулировки; 3 – смеситель; 4 – расходомер; 5 – реакционная камера; 6 – держатель образца; 7 – кислородный анализатор.

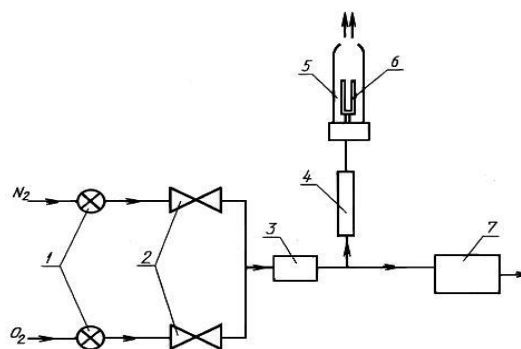


Рис. 1

Держатель образца предназначен для закрепления его в вертикальном положении в трубе (рис. 2 – держатель для фиксации образца ткани).

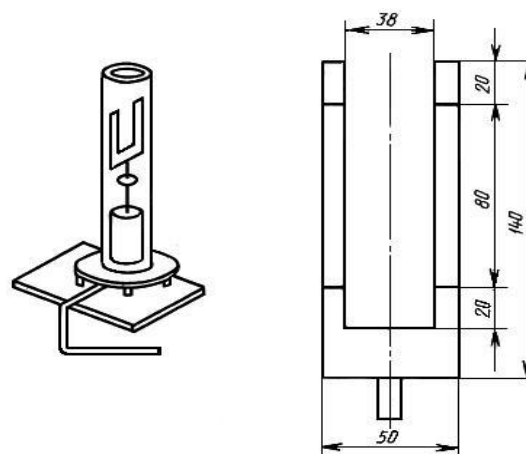


Рис. 2



По ходу испытания отмечаются процессы, сопровождающие горение: падение частиц, обугливание, неравномерное горение, тление.

В ходе работы также были проведены исследования, связанные с изучением процесса термического разложения материалов из растительных и полиэфирных волокон, с использованием методов термогравиметрического анализа, дифференциального

термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии по стандартным методикам [7].

#### *Результаты и обсуждение*

В рамках представленного исследования получены следующие результаты, характеризующие, поведение материалов из природных целлюлозных и полиэфирных волокон при горении (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Волокно/ткань	Поведение при горении		Остаток после горения	Характерный запах
	В пламени	При удалении из пламени		
Волокно: хлопок, лен	Интенсивно горит	Горит	Пепел серого цвета	Жженная бумага
Волокно: полиэфир	Плавится вблизи пламени, интенсивно горит в пламени	Затухает	Твердый спекшийся стеклообразный шарик	Неопределенный "синтетический", коптит
Ткань: хлопчатобумажная и льняная	Интенсивно горит	Горит	Пепел серого цвета	Жженная бумага
Ткань: хлопкополиэфирная	Оплавляется вблизи пламени, интенсивно горит в пламени	Горит с последующим затуханием	Серый пепел со стеклообразным остатком	Ощущается запах жженной бумаги

Из приведенных данных видно, что при обычных условиях и при свободном доступе кислорода воздуха исследуемые текстильные материалы из природной целлюлозы полностью сгорают вне зависимости от вида волокна. Поэтому, наибольшую пожарную опасность имеют волокна из природной целлюлозы, в частности, хлопковое, поскольку обладает достаточно рыхлой структурой по сравнению с льняным и имеет более развитую внутреннюю поверхность, то есть пористость. Полиэфирное волокно имеет очень низкую пористость структуры, поэтому характер его горения резко отличается от горения хлопка. Полиэфирное волокно плавится вблизи огня, но загорается с трудом и гаснет после удаления источника зажигания, горение протекает с выделением черной копоти. Хлопкополиэфирная ткань содержит 67% синтетической составляющей и 33% хлопка, вследствие чего при горении в большей степени ведет себя как полиэфир.

Проведенные испытания показали, что хлопчатобумажная ткань имеет величину кислородного индекса 18,0%. Для ткани из льна данный показатель составляет 20,4%.

Отличие в значениях КИ можно объяснить структурой и составом исходного хлопкового и льняного волокон: разным количеством внутренних пор или пустот, заполненных воздухом, количеством горючих примесей волокна, а также структурными особенностями самих текстильных полотен (в частности, ткацким переплетением, которое определяет объем содержащегося в межволоконном пространстве воздуха). Величина КИ для полиэфирной ткани составила 22,5%. Смесовая хлопкополиэфирная ткань (33 хл : 67 пэ) имеет значение КИ 19,6%. Из полученных данных видно, что показатель КИ для смесовой ткани определяется волокнистым составом текстильного полотна, поэтому находится внутри диапазона величин 18,0...22,5%. Таким образом, зная значения кислородного индекса натуральных и химических волокон, можно сделать вывод о диапазоне, в границах которого будет изменяться величина КИ смесовых тканей. При этом стоит учитывать, что на значение кислородного индекса целлюлозных текстильных материалов оказывает влияние их толщина и поверхностная плотность.



На основании проведенных исследований рассчитана скорость выгорания тканей

при различных величинах кислородного индекса (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Название ткани	Значение КИ, %	Скорость выгорания, м/с (мм/с)
Хлопчатобумажная	18,0	0,00198 (1,980)
Льняная	20,4	0,001724 (1,724)
Полиэфирная	22,5	0,000605 (0,605)
Хлопкополиэфирная	19,6	0,001809 (1,809)

Данные, полученные в ходе проведения термического анализа, показали, что под действием высокой температуры происходят значительные изменения в структуре целлюлозы и полиэфира. Глубина и характер данных изменений зависит как от температуры обработки, так и от длительности нагрева. Кроме того, степень полимеризации хлопковой и льняной целлюлозы, соответственно, длина макромолекул и наличие в волокнах различных по качественному и количественному составу природных примесей также находят отражение в поведении материалов при высокотемпературной обработке. При увеличении температуры свыше 120°C в природном полимере начинают протекать процессы термической деструкции. При температурах, превышающих 240°C, начинается процесс дегидратации, в результате чего изменяется химический состав элементарного звена целлюлозы. Для полиэфирной составляющей температура плавления лежит в интервале 258...264°C, что находит отражение в изменении хода кривой теплового потока, которое указывает на переход синтетического полимера из твердого состояния в вязкотекучее. В диапазоне 280...360°C параллельно с продолжающейся деполимеризацией протекают более глубокие изменения химического состава элементарного звена целлюлозы и примесей волокна, а также полиэфирной составляющей. Данный факт подтверждается минимальными значениями величин тепловых эффектов на кривых теплового потока. При воздействии на хлопкополиэфирный материал температуры свыше 290°C идет термоокислительная деструкция полимеров с выделением различных газообразных продуктов (СО и СО<sub>2</sub>), а также возможно образование уксусного альдегида и терефталевой кислоты. Указанные процессы сопровождаются

выделением тепла и завершаются при температуре 400...450°C. Зольный остаток хлопкополиэфирных волокнистых материалов представляет собой смесь угля и смолы; основными жидкими продуктами термоокислительной деструкции являются ацетон, уксусная кислота и некоторые другие вещества [8].

Таким образом, показано, что продолжительное воздействие на текстильный материал высокой температуры приводит к деполимеризации волокнообразующих полимеров, входящих в его состав, и выделению газообразных продуктов. При этом с ростом температуры газовой смеси увеличивается скорость реакций термоокисления, идущих с выделением тепла. При достижении температуры самовоспламенения (405...410°C – для хлопка, 440°C – для полиэфира [9], [10]) скорость нагрева резко возрастает за счет протекания внутренних тепловых процессов, результатом чего является самовозгорание материала. В процессе горения смесовых текстильных материалов возможно каплеобразование за счет плавления синтетической составляющей, что способствует распространению пламени и возникновению вторичных очагов пожара.

## В Ы В О Д Ы

В представленной работе на основе экспериментально полученных значений кислородного индекса и данных термического анализа количественно оценены пожароопасные характеристики текстильных материалов из природных целлюлозных и полиэфирных волокон.

Показано, что тканые материалы и изделия из них легко воспламеняются, быстро горят с выделением большого количества дыма и газообразных продуктов, что

объясняется химическим составом и структурой природных целлюлозных волокон, которая обеспечивает присутствие большого количества кислорода в порах волокна и наличие воздушных пустот, следствием чего является горение без доступа воздуха. Помимо этого наличие в составе ткани синтетической составляющей способствует горению каплепадением, что является дополнительным источником распространения пламени.

При разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности предприятий, связанных производством волокнистых материалов, необходимо учитывать наличие большого количества горючего сырья, легкость его воспламенения, значительное количество волокнистой пыли, быстроту распространения огня и трудность тушения. Для предотвращения распространения пожаров необходимо обеспечить соответствующую планировку складов, а также ограничить объемы хранимых текстильных волокнистых материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник / Под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021.
2. *Торопова М.В., Лазарев А.А., Мочалов А.М.* Особенности осуществления пожарного надзора в сфере производства текстильной продукции. // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019, №1 (30). С. 88...94.
3. *Федосов С.В., Торопова М.В., Махов Н.М., Тотиевский П.Б., Павлов Д.С., Виденев А.А.* Разработка рекомендаций по выбору средств и методов для обеспечения пожарной безопасности текстильных производств // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019, №3 (31). С. 97...105.
4. *Horrocks A.R.* Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // *Polymer Degradation and Stability*. – 2013, №98. P.2813...2824.
5. *Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Петров А.В., Циркина О.Г., Шарabanова И.Ю., Румянцева В.Е.* Исследование влияния огнезащитной обработки на термическое разложение ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.101...104.
6. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г.* Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 4. С. 75...81.

7. ГОСТ 29127-91 (ИСО 7111-87). Пластмассы. Термогравиметрический анализ полимеров. Метод сканирования по температуре. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004.

8. *Вадецкий Ю.В.* Нефтегазовая энциклопедия: в 3-х т. – М.: Моск. отд-ние "Нефть и Газ" Междунар. акад. информатизации (МАИ). – 2002.

9. *Вогман Л.П.* Пожарная опасность процессов тления целлюлозы и растительного сырья // *Техника и технологии*. – 2016, №12. С.56...62.

10. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013, № 5. С. 75...79.

#### REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2020: Statistical collection / under the general editorship of D.M. Gordienko. – М.: VNIPO, 2021.
  2. *Toropova M.V., Lazarev A.A., Mochalov A.M.* Features of fire supervision in the field of textile production. // *Modern problems of civil protection*. – 2019. No.1 (30). pp. 88...94.
  3. *Fedosov S.V., Toropova M.V., Makhov N.M., Totievsky P.B., Pavlov D.C., Videnev A.A.* Development of recommendations on the choice of means and methods for ensuring fire safety of textile industries // *Modern problems of civil protection*. – 2019.3 (31). pp.97...105.
  5. *Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Petrov A.V., Tsiirkina O.G., Sharabanova I.Yu., Romyantseva V.E.* Investigation of the effect of flame retardant treatment on thermal decomposition of fabric // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, № 6. P. 101...104.
  6. *Spiridonova V.G., Tsiirkina O.G.* Analysis of methods for assessing the flame-retardant properties of textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021. No. 4. P. 75...81.
  7. ISO 7111-87. Plastics. Thermogravimetric analysis of polymers. Temperature scanning method. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2004.
  8. *Vadetsky Yu.V.* Oil and gas Encyclopedia: in 3 t. - Moscow: Moscow department "Oil and Gas" International. acad. Informatization (MAI). – 2002.
  9. *Vogman L.P.* Fire danger of the processes of smoldering cellulose and vegetable raw materials // *Technique and technology*. – 2016. No.12. P.56...62.
  10. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Modern trends in the production of fire-resistant textile materials // *Bulletin of Kazan Technological University*. –2013. No. 5. P. 75...79.
- Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК "Государственный надзор") Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 31.10.22

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
В РЕАКТОРЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С РУБАШКОЙ НАГРЕВА**

**MATHEMATICAL MODELING OF TEXTILE WASTE PYROLYSIS  
IN A BATCH REACTOR WITH A HEATING JACKET**

*В.А. ОГУРЦОВ<sup>1</sup>, В.Е. РУМЯНЦЕВА<sup>1,2</sup>, А.В. МИТРОФАНОВ<sup>3</sup>, А.В. ОГУРЦОВ<sup>3</sup>, З.В. ЗАРУБИН<sup>3</sup>*

*V.A. OGURTSOV, V.E. RUMYANTSEVA, A.V. MITROFANOV, A.V. OGURTSOV, Z.V. ZARUBIN*

**(Ивановский государственный политехнический университет,  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина)**

**(Ivanovo State Polytechnical University,  
Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation  
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,  
Ivanovo State Power Engineering University)**

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

*Утилизация отходов текстильного производства представляет собой актуальную задачу. Наиболее остро эта проблема проявляется в регионах с развитой текстильной промышленностью. Для преодоления указанной проблемы предложены различные технические решения, в том числе возможно использование текстильных отходов в химико-энергетических целях. Процесс пирогенной переработки материалов позволяет получать различные продукты, необходимые химической и другим отраслям материального производства. В работе предложена одномерная математическая модель функционирования цилиндрического реактора для пиролиза периодического принципа действия с рубашкой нагрева. Модель построена на основе явной разностной схемы и адаптирована для случая термического разложения ткани рами. Материальные константы для параметрической идентификации модели взяты из известных литературных источников. В ходе численных экспериментов показана качественная непротиворечивость результатов и обоснована необходимость описания подобной аппаратуры как объектов с распределенными характеристиками. Модель может быть рассмотрена как достоверная научная основа для построения компьютерного метода расчета аппаратуры пирогенетической утилизации текстильных отходов.*

*Recycling of textile production waste is an urgent task. This problem is the most acute in regions with a developed textile industry. To overcome this problem, various technical solutions have been proposed, including the use of textile waste in chemical and energy purposes. The process of pyrogenic treatment of materials makes it possible to obtain various products necessary for chemical and other branches of material production. The paper proposes a one-dimensional mathematical functioning model of a cylindrical batch reactor for pyrolysis with a heating jacket. The model is based on an explicit difference scheme and adapted for the case of rami textile thermal decomposition. The material constants for parametric identification of the model are taken from well-known literary sources. In the course of numerical experiments, the qualitative consistency of the results is shown and the necessity of describing such an apparatus as objects with distributed characteristics is justified.*

*The model can be considered as a reliable scientific basis for constructing a computer method for calculating equipment of textile waste pyrogenetic disposal.*

**Ключевые слова:** пиролиз, текстильные отходы, численное моделирование, тепло- и массообмен.

**Keywords:** pyrolysis, textile waste, numerical modeling, heat and mass transfer.

### 1. Введение

Наблюдающееся в настоящее время сокращение запасов доступного ископаемого топлива на фоне злободневных проблем загрязнения окружающей среды побуждает многие страны (в том числе и РФ [1]) расширять твердотопливную нишу за счет вовлечения в топливно-энергетический оборот отходов различных производств, пригодных для термохимической переработки [2], [3]. При этом наряду с прямым сжиганием, все более широкое распространение получают процессы пиролиза или газификации, проводимые при повышенных температурах в безокислительной среде [2...4]. Конечным результатом процесса пиролиза могут быть различные твердые, газообразные и жидкие продукты, пригодные для использования в энергетике и химической инженерии [2...4].

Поскольку вовлекаемые в оборот материалы, как правило, имеют сложный химический состав, то при рассмотрении кинетики их термического преобразования описанию подлежит некоторая суммарная реакция с использованием формально-кинетических моделей, применяемых для анализа результатов термогравиметрического исследования термического преобразования материалов [5], [6]. Несмотря на известные трудности с математической формализацией результатов термогравиметрических исследований [5], они обычно позволяют получить достаточно надежные формально-кинетические зависимости для прогнозирования реализации термического преобразования материалов [5...7].

Переработка отходов текстильного производства представляется достаточно актуальной [7...9], поэтому кинетика термохимического преобразования в некоторой степени исследована [7], [9]. Однако необходимо отметить, что кинетические параметры получают при термогравиметричес-

ком исследовании возможно малых по своим массогабаритным параметрам образцов материала, а организация технологической переработки отходов текстильного производства требует надежных моделей для описания кинетики преобразования больших объемов материалов, находящихся в реакторном пространстве. Поскольку химико-технологическая аппаратура далеко не всегда может быть отнесена к аппаратам идеального смешения, то возникает потребность в ее описании как системы с распределенными характеристиками [11], [12].

Целью настоящей статьи является формирование математической модели для описания реактора пиролиза текстильных отходов, снабженного рубашкой нагрева.

### 2. Материалы и методы

2.1. Описание процессов переноса в пространстве аппарата

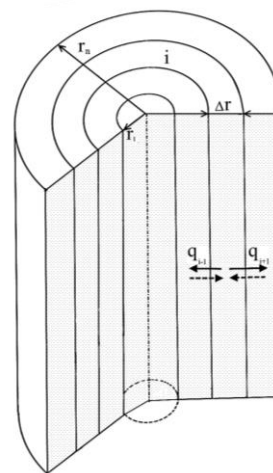


Рис. 1

В основу моделирования положена явная разностная схема представления основных технологических процессов в аппарате, использованная ранее для описания пиролиза древесины в аппарате с радиальным нагревом [2]. Расчетная схема предла-

гаемой одномерной математической модели технологических процессов в реакторном пространстве показана на рис. 1.

В работе [2] была показана принципиальная качественная непротиворечивость математических построений, поэтому в настоящей работе акцент делается на дальнейшей работе с моделью и ее адаптации к процессам энерготехнологической переработки отходов текстильного производства. При этом рассматривается сценарий работы аппарата, при котором в одном агрегате совмещаются процессы сушки и термохимического преобразования слоя текстильных отходов.

Детальное описание математических построений модели описано в работе [2], поэтому в настоящей работе фиксируются только базовые ее положения. Для описания переноса аддитивных свойств (влаги и теплоты) в радиальном направлении аппарата используется явная разностная аппроксимация процессов массопроводности и теплопроводности. Межфазное взаимодействие и химические превращения описываются обычным образом [2], но дифференцированно для каждого цилиндрического слоя толщиной  $\Delta r$ .

Так, например, теплосодержание во всем аппарате описывается вектор-столбцом  $Q = \{Q_i\}$ , имеющим размерность  $n \times 1$  (где  $n$  – число ячеек). Каждый элемент этого вектора содержит теплоту внутри  $i$ -го цилиндрического слоя. Векторы такой же размерности позволяют описывать и другие аддитивные характеристики процессов внутри реакторного пространства (распределение влаги, массы реагирующих компонентов и т.д.). Эволюция этих векторов, характеризующих состояние процесса в аппарате, рассчитывается при помощи рекуррентных математических процедур и фиксируется в дискретные моменты времени  $t_k = (k - 1)\Delta t$ , где  $\Delta t$  – продолжительность временного перехода;  $k$  – номер временного перехода.

Базовые соотношения модели [2] отражают достаточно очевидные уравнения баланса и, например, для процесса пространственного переноса теплоты, записываются следующим образом:

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + q_{i-1}^k + q_{i+1}^k \text{ для } i = \overline{2, (n-1)}, \quad (1)$$

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + q_{i+1}^k \text{ для } i = 1, \quad (2)$$

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + q_{i-1}^k + q_s^k \text{ для } i = n. \quad (3)$$

Источниковое слагаемое  $q_s$  определяет количество теплоты, поступающее в аппарат от тепловой рубашки с температурой стенки  $T_s$  на каждом рекуррентном шаге, и рассчитывается как:

$$q_s^k = -\lambda_n^k (T_n^k - T_s) (2\pi r_n L) \Delta t / dr, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности слоя сыпучего материала, который зависит от степени завершенности процесса термопреобразования материала  $\alpha$  и реологических характеристик слоя (эмпирическая функциональная зависимость и порядок расчета описан в работе [2]).

При построении балансовых уравнений (1)...(3) учитывается также, что каждый рассматриваемый  $i$ -й цилиндрический слой граничит и обменивается порциями теплоты с соседними слоями, номера которых  $(i+1)$  и  $(i-1)$  соответственно. Порции теплоты, которые может получать или отдавать  $i$ -й слой  $q_{i-1}$  и  $q_{i+1}$ , могут быть определены как:

для  $i = \overline{2, n}$ :

$$q_{i-1}^k = \left[ -\lambda_i^k \frac{(T_i^k - T_{i-1}^k)}{\Delta r} \right] (2\pi r_{i-1} L) \Delta t, \quad (5)$$

для  $i = \overline{1, n-1}$ :

$$q_{i+1}^k = \left[ -\lambda_i^k \frac{(T_i^k - T_{i+1}^k)}{\Delta r} L \right] (2\pi r_i) \Delta t, \quad (6)$$

где  $T_i$  – элемент вектора температур материала  $T = \{T_i\}$ , который формируется на основе вектора содержания теплоты в цилиндрических слоях  $Q = \{Q_i\}$ ,  $L$  – высота реактора.

## 2.2. Описание межфазного взаимодействия и термопреобразования материала

В высокотемпературных процессах обезвоживание материала часто рассматривается по аналогии с описанием химических реакций, поэтому для описания кинетики

тики сушки вводятся уравнения, аналогичные по форме записи уравнению Аррениуса [13...15]. Таким образом, для описания эволюции распределения массы влаги по слоям (которое описывается вектором  $M_w$ ), можно записать [2]:

$$M_{w,i}^{k+1} = M_{w,i}^k - k_{w,i}^k (X_{w0} - X_{w,i}^k) M_{w,i}^k \Delta t, \quad (7)$$

где  $k_w$  – константа скорости процесса обезвоживания материала;  $X_w$  и  $X_0$  – текущее и начальное влагосодержание материала в рассматриваемом цилиндрическом слое.

Константа скорости обезвоживания материала представляется в виде аррениусовской зависимости [13...15]:

$$k_{w,i}^k = k_{w0} \exp\left(\frac{-E_{aw}}{RT_i^k}\right), \quad (8)$$

где значения параметров можно принять следующими:  $k_{w0} = 5,13 \cdot 10^{10}$  и  $E_{aw} = 88$  кДж/моль [13...15].

В разработанной модели процесса в аппарате термическое разложение навески сырья формально описывается одной суммарной реакцией [2]. Такое допущение является традиционным для упрощения инженерных расчетов [15], и позволяет описывать изменение степени завершенности реакции  $\alpha$  с использованием единого аррениусовского выражения для константы скорости термического разложения материала [2], [7]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_i^k}\right) f(\alpha), \quad (9)$$

где  $A$  и  $E$  – предэкспоненциальный фактор и энергия активации суммарной реакции разложения ткани рами ( $\lg(A) = -1,3515 + 0,0808 \cdot E$  при  $E = 159,99$  кДж/моль и [7]), безразмерная кинетическая функция, определяющаяся типом и механизмом реакции, принята в форме  $f(\alpha) = 1 - (1 - \alpha)^{0,5}$  [7].

В результате обезвоживания и реализации термического разложения материала векторы состояния масс компонентов на каждом шаге корректируются (вектор реагирующей массы  $M$ , который легко

рассчитывается в зависимости от степени завершенности процесса  $\alpha$ , и вектор содержания влаги  $M_w$ ) [2]. Кроме того, необходима дополнительная (по сравнению с операциями (1)...(3)) корректировка вектора теплового состояния аппарата  $Q$ :

$$Q^{k+1} = Q^{k+1} + (M^{k+1} - M^k) r_r - (M_w^{k+1} - M_w^k) r_w, \quad (10)$$

где  $r_r$  – удельный тепловой эффект реакции пиролиза;  $r_w$  – удельный тепловой эффект испарения влаги.

Таким образом, предложенная модель принципиально позволяет рассчитывать кинетические характеристики основных процессов на основе текущего состояния системы. Это позволяет описать функционирование аппаратуры как нестационарной пространственно-временной системы.

### 3. Результаты

На рис. 2...4 представлены результаты численных экспериментов, отражающие изменение пространственных характеристик функционирования аппарата во времени.

Численные эксперименты проводились для моделирования пиролиза в цилиндрическом реакторе радиусом  $R = 0,1$  м и высотой рабочей зоны  $0,75$  м, температура в котором повышается с  $20^\circ\text{C}$  до рабочего значения  $600^\circ\text{C}$ . При моделировании приняты  $\Delta x = R/10$  и  $\Delta t = 0,2$  с.

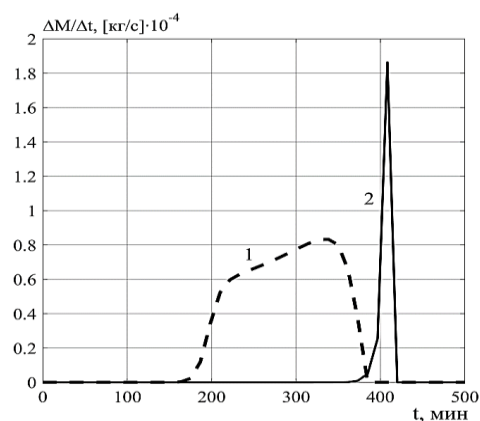


Рис. 2

На рис. 2 (дифференциальные кривые уменьшения массы материала: линия 1 – для процесса сушки, линия 2 – для процесса

термической конверсии) представлены дифференциальные кривые уменьшения массы материала за счет обезвоживания (линия 1) и за счет реакции термического разложения (линия 2). Как видно, указанные процессы не совпадают во времени, соответственно не влияют друг на друга.

Рис. 3 и рис. 4 характеризуют пространственно-временные распределения температуры материала.

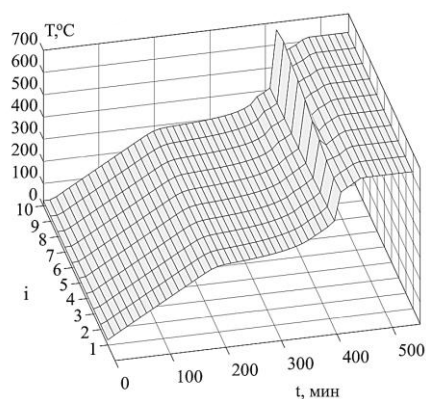


Рис. 3

На рис. 3 видно, что распределение температуры в пространстве аппарата характеризуется существенной неоднородностью, вплоть до завершения всех процессов. Кроме того, процесс обезвоживания материала (начальное содержание влаги полагалось на уровне 20% от массы навески) достаточно долго не позволяет реактору разогреться. Однако после завершения сушки реакция начинается интенсивно и при максимальной скорости реакции (рис. 2) экзотермические эффекты реакции качественно меняют тепловой режим аппарата, что наиболее заметно на рис. 4 (расчетные радиальные профили температур в различные моменты времени: 1 – 60 мин, 2 – 140 мин, 3 – 250 мин, 4 – 400 мин, 5 – 420 мин, 6 – 500 мин) (линия 5 качественно отличается от линий 1...4 и 6). К моменту времени 420 мин наличие экзотермических эффектов приводит к перегреву внутренней зоны аппарата. В дальнейшем система приходит к равномерному распределению температур (за счет перераспределения теплоты и завершения реакций пиролиза),

однако эта температура оказывается выше, чем температура стенки (600°C).

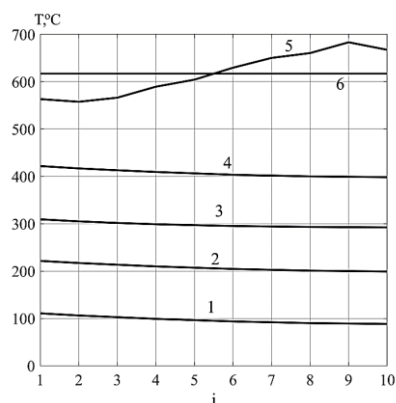


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

В ходе проведенных расчетных исследований показана качественная непротиворечивость получаемых результатов в отношении теплового режима проводимых процессов. В частности, показан разогрев материала во внутренних зонах реактора до значений, превышающих температуру стенки, являющейся источником теплоты. Для периодических режимов работы оборудования такие эффекты, объясняющиеся экзотермическим характером реакций, могут иметь важное значение с точки зрения функционирования оборудования. Кроме того, результаты численных экспериментов показывают необходимость описания подобной аппаратуры как объектов с распределенными характеристиками, так как наблюдается значительная пространственная неоднородность полей температур.

Таким образом, модель позволяет технологом облегчить процесс принятия решений при управлении режимами работы оборудования и может быть рассмотрена как достоверная научная основа формирования компьютерного метода расчета аппаратуры для пирогенетической утилизации текстильных отходов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Fortov V.E., Popel' O.S. The Current Status of the Development of Renewable Energy Sources Worldwide and in Russia // Thermal engineering. – 2014, №.6. P. 4...13.



2. Митрофанов А.В., Мизонов В.Е., Василевич С.В., Малько М.В. Экспериментальное и расчетное исследование пиролиза биомассы в цилиндрическом реакторе // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. Вып. 64. №1. С. 51...64.

3. Zhang L., Xu C.C., Champagne P. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass // Energy Convers. Manag. – 2010. Vol. 51. P.969...982.

4. Bridgwater AV. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass Bioenergy.– 2012. Vol.38. P. 68...94

5. Mitrofanov A.V., Mizonov V.E., Mal'ko M.V., Vasilevich S.V., Zarubin Z.V. Formal kinetic approaches to the description of thermal decomposition of materials - problems of parameter identification and results interpretation: A brief review // ChemChemTech. – 2022. Vol. 65. № 7. P. 6...16.

6. Mal'ko M.V., Vasilevich S.V., Mitrofanov A.V., Mizonov V.E. An innovate method of thermogravimetric data analysis // ChemChemTech. – 2021. Vol. 64. № 3. P. 24...32. – DOI 10.6060/ivkkt.20216403.6348.

7. Zhu F., Feng Q., Liu R., Li K., Xu Y. Kinetics of pyrolysis of ramie fabric wastes from thermogravimetric data // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2014. Vol. 119. P. 651...657.

8. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Касьяненко Н.С. Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №6. С. 21...29.

9. Zhu F., Feng Q., Liu R., Xin Q., Li K., Xu Y. Pyrolysis kinetics of polysulfonamide fiber used for fire protective clothing // Textile Research Journal. – 2015. Vol.86. P. 472...479.

10. Колибаба О.Б., Горбунов В.А., Горинов О.И., Самышина О.В., Габитов Р.Н. Исследование влияния влажности на температурный режим переработки твердых бытовых отходов, содержащих текстиль, термическими методами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 2. С.192...195.

11. Аleshina А.П., Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Митрофанов А.В. Применение теории цепей Маркова к моделированию кинетики виброгрохочения в слое переменной высоты // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2014, № 5. С. 42...46.

12. Mitrofanov A., Mizonov V., Camelo A., Tannous K. Application of the theory of Markov chains to theoretical study of processes in a circulating fluidized bed // Particulate Science and Technology. – 2019. Vol. 37. №8. P. 1028...1033.

13. Bryden K.M., Hagge M.J. Modeling the combined impact of moisture and char shrinkage on the pyrolysis of a biomass particle // Fuel. – 2003. Vol. 82. P.1633...1644.

14. Lu, H., W. Robert, G. Peirce, B. Ripa, L.L. Baxter.. Comprehensive study of biomass particle combustion // Energy and Fuels. – 2008. Vol. 22. P. 2826...2839.

15. Fatehi, H., X.S. Bai.. A Comprehensive Mathematical Model for Biomass Combustion // Combustion Science and Technology. – 2014. Vol. 186. P. 574...593.

## REFERENCES

1. Fortov V.E., Popel' O.S. The Current Status of the Development of Renewable Energy Sources Worldwide and in Russia // Thermal engineering. – 2014, No.6. P. 4...13.

2. Mitrofanov A.V., Mizonov V.E., Vasilevich S.V., Malko M.V. Experiments and Computational Research of Biomass Pyrolysis in a Cylindrical Reactor // Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations. – 2021. Vol. 64. No.1. P. 51...64. (in Russian).

3. Zhang L., Xu C.C., Champagne P. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass // Energy Convers. Manag. – 2010. Vol. 51. P.969...982.

4. Bridgwater AV. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass Bioenergy.– 2012; Vol.38. P. 68...94

5. Mitrofanov A.V., Mizonov V.E., Mal'ko M.V., Vasilevich S.V., Zarubin Z.V. Formal kinetic approaches to the description of thermal decomposition of materials - problems of parameter identification and results interpretation: A brief review // ChemChemTech. – 2022. Vol. 65. No 7. P. 6...16.

6. Mal'ko M.V., Vasilevich S.V., Mitrofanov A.V., Mizonov V.E. An innovate method of thermogravimetric data analysis // ChemChemTech. – 2021. Vol. 64. No 3. P. 24...32. – DOI 10.6060/ivkkt.20216403.6348.

7. Zhu F., Feng Q., Liu R., Li K., Xu Y. Kinetics of pyrolysis of ramie fabric wastes from thermogravimetric data // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2014. Vol. 119, P. 651...657.

8. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Kasiyanenko N.S. The use of textile industry waste in the production of building composites decomposition // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2021, No. 6. P. 21...29.

9. Zhu F., Feng Q., Liu R., Xin Q., Li K., Xu Y. Pyrolysis kinetics of polysulfonamide fiber used for fire protective clothing // Textile Research Journal. – 2015. Vol.86/ P. 472...479.

10. Kolibaba O.B., Gorbunov V.A., Gorinov O.I., Samyshina O.I., Gabitov R.N. The influence of the thermo physical properties of solid household wastes with textile components on the temperature regime of the thermal decomposition // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2016, No. 2. P. 192...196

11. Aleshina A.P., Ogurtsov V.A., Mizonov V.E., Mitrofanov A.V. Application of Markov chain theory to modeling the kinetics of vibration shock in a layer of variable height // Transactions of the Ivanovo State Power Engineering University. – 2014. No. 5. P. 42...46.

12. Mitrofanov A., Mizonov V., Camelo A., Tannous K. Application of the theory of Markov chains to



theoretical study of processes in a circulating fluidized bed // Particulate Science and Technology. – 2019. Vol. 37. No 8. P. 1028...1033.

13. Bryden K.M., Hagge M.J. Modeling the combined impact of moisture and char shrinkage on the pyrolysis of a biomass particle // Fuel. – 2003. Vol. 82. P.1633...1644.

14. Lu, H., W. Robert, G. Peirce, B. Ripa, L.L. Baxter. Comprehensive study of biomass particle combustion // Energy and Fuels. – 2008. Vol. 22. P. 2826...2839.

15. Fatehi, H., X.S. Bai.. A Comprehensive Mathematical Model for Biomass Combustion // Combustion Science and Technology. – 2014. Vol. 186. P. 574...593.

Рекомендована кафедрой информационных технологий. Поступила 31.10.22.

УДК 331.45

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_189

## ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА РАБОЧИХ ЗОН НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### THE AIR TEMPERATURE VERIFICATION OF WORKING AREAS IN THE TEXTILE INDUSTRY

*Е.А. КОРОЛЬ, Е.Н. ДЕГАЕВ, Б.Е. НАРМАНИЯ*

*E.A. KOROL, E.N. DEGAEV, B.E. NARMANIA*

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: degaev@inbox.ru

*В статье приведены результаты исследования температурных режимов рабочих зон на предприятиях текстильной промышленности, расположенных в Московской, Ростовской, Волгоградской, Ивановской, Курской и Смоленской областях. По полученным результатам выявлено, что температура производственной среды, согласно ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" и СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда", на исследуемых объектах соответствует требованиям. Однако по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" на шести объектах исследования температура в теплый период оказалась выше предельно допустимой. На этих объектах рекомендуется утеплить ограждающие конструкции и модернизировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, обеспечивающие создание комфортных условий в рабочей зоне.*

*The article presents the results of the temperature regimes study of working zones at textile industry enterprises located in Moscow, Rostov, Volgograd, Ivanovo, Kursk and Smolensk regions. According to the results obtained, it was revealed that the temperature of the production environment is in accordance with GOST 12.1.005-88 "System of occupational safety standards. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area" and SP 2.2.3670-20 "Sanitary and epidemiological requirements for working conditions", at the studied facilities meets the requirements. However, according to SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic*

*standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans", the temperature at six objects of the study during the warm period turned out to be higher than the maximum permissible. At these facilities, it is recommended to insulate the enclosing structures and modernize the heating, ventilation and air conditioning systems that ensure the creation of comfortable conditions in the working area.*

**Ключевые слова:** температура воздуха, рабочая зона, текстильная промышленность, микроклимат, комфортные условия.

**Keywords:** air temperature, working area, textile industry, microclimate, comfortable conditions.

### *Введение*

Текстильное производство является составной частью легкой промышленности Российской Федерации. По итогам 2021 года прирост рынка легкой промышленности в сравнении с 2020 годом составил 20,3% [1]. Количество рабочих мест при этом увеличилось на 2,1%. Главным образом это связано с мерами государственной поддержки, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 сентября 2020 г. № 1426 "Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям промышленности на возмещение части затрат на обслуживание кредитов, направленных на увеличение объемов реализации продукции и повышение конкурентоспособности российской промышленной продукции" [1], [2].

В легкой промышленности занято свыше 291 тыс. человек на 20 тыс. предприятиях. Производство текстильных изделий занимает 52% объема легкой промышленности. Поддержка со стороны государства предполагает дальнейший рост отрасли с увеличением рабочих мест [1], [2].

В связи с тем, что строительство основных производственных площадей, которые в настоящее время эксплуатируются в текстильной промышленности, пришлось на период 1960-1980 гг. стремительного развития отрасли, то актуальными являются вопросы, касающиеся современных условий труда, которые влияют не только на эффективность производственного процесса, но и на жизнь и здоровье работников.

Особенность микроклимата ряда производств текстильной промышленности заключается в наличии повышенной температуры воздуха в сочетании с его повышенной влажностью, что обусловлено спецификой технологии [3].

Целью данной работы является верификация температуры воздуха рабочих зон на предприятиях текстильной промышленности с действующими нормативными требованиями.

### *Методы*

Микроклиматические условия производственной среды определяются следующими параметрами: температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением и интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей, которые регламентируются ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" и СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда".

Этими документами установлены оптимальные и допустимые величины температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

При этом допустимыми параметрами микроклимата рабочей зоны являются параметры, вызывающие при длительном и систематическом воздействии на человека изменения функционального и теплового

состояния организма и напряжение реакций терморегуляция, которые быстро нормализуются и не выходят за пределы физиологических возможностей человека. Нарушение состояния здоровья при этих условиях возникнуть не может.

Оптимальными микроклиматическими условиями являются такие сочетания параметров воздуха рабочей зоны, которые обеспечивают сохранение нормального

функционального и теплового состояния организма при их длительном и систематическом воздействии на человека. Эти условия создают предпосылки для высокого уровня работоспособности человека [4...8].

Оптимальные и допустимые параметры температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Период года	Категория работ	Температура, °С						Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных	
			верхняя граница		нижняя граница						
			на рабочих местах								
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных								
Холодный	Легкая - Ia	22...24	25	26	21	18	40...60	75	0,1	Не более 0,1	
	Легкая - Ib	21...23	24	25	20	17	40...60	75	0,1	Не более 0,2	
	Средней тяжести - Pa	18...20	23	24	17	15	40...60	75	0,2	Не более 0,3	
	Средней тяжести - Pb	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	Не более 0,4	
	Тяжелая - П	16...18	19	20	13	12	40...60	75	0,3	Не более 0,5	
Теплый	Легкая - Ia	23...25	28	30	22	20	40...60	55 (при 28°С)	0,1	0,1...0,2	
	Легкая - Ib	22...24	28	30	21	19	40...60	60 (при 27°С)	0,2	0,1...0,3	
	Средней тяжести - Pa	21...23	27	29	18	17	40...60	65 (при 26°С)	0,3	0,2...0,4	
	Средней тяжести - Pb	20...22	27	29	16	15	40...60	70 (при 25°С)	0,3	0,2...0,5	
	Тяжелая - П	18...20	26	28	15	13	40...60	75 (при 24°С и ниже)	0,4	0,2...0,6	

Таблица 2

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0...21,9	24,1...25,0	19,0...26,0	15...75	0,1	0,1
	Ib (140...174)	19,0...20,9	23,1...24,0	18,0...25,0	15...75	0,1	0,2
	Pa (175...232)	17,0...18,9	21,1...23,0	16,0...24,0	15...75	0,1	0,3
	Pb (233...290)	15,0...16,9	19,1...22,0	14,0...23,0	15...75	0,2	0,4
	П (более 290)	13,0...15,9	18,1...21,0	12,0...22,0	15...75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0...22,9	25,1...28,0	20,0...29,0	15...75	0,1	0,2
	Ib (140...174)	20,0...21,9	24,1...28,0	19,0...29,0	15...75	0,1	0,3
	Pa (175...232)	18,0...19,9	22,1...27,0	17,0...28,0	15...75	0,1	0,4
	Pb (233...290)	16,0...18,9	21,1...27,0	15,0...28,0	15...75	0,2	0,5
	П (более 290)	15,0...17,9	20,1...26,0	14,0...27,0	15...75	0,2	0,5

Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 утверждены санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". В табл. 2 приведены допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах в помещениях по СанПиН 1.2.3685-21.

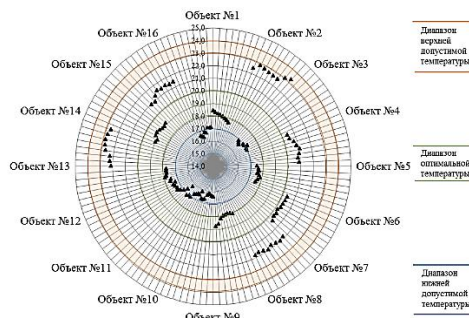


Рис. 1

**Результаты и обсуждения**  
 Контроль температурного режима проводился в цехах 16 предприятий текстильной промышленности, расположенных в Московской, Ростовской, Волгоградской, Ивановской, Курской и Смоленской областях.

Измерения температуры проводились прибором МЕТЕОСКОП-М в рабочей зоне выборочно на уровнях 0,1; 1,0; 1,5 и 1,7 м от пола. Результаты измерений представлены на рис. 1...5.

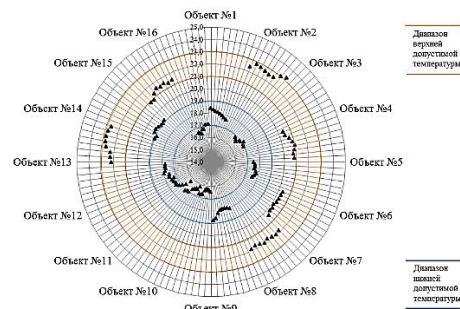


Рис. 2

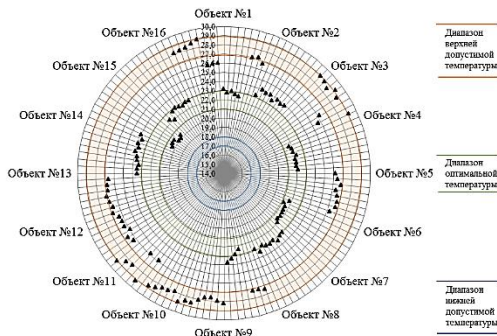


Рис. 3

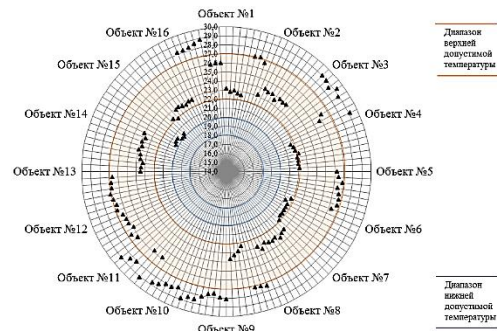


Рис. 4

Анализируя данные в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88, выявлено, что температурный режим всех 16 объектов наблюдения находится в допустимых пределах как в теплый, так и в холодный период года для категории работ Па.

Оценка результатов по СанПиН 1.2.3685-21 показала, что температура рабочих зон в холодное время года на всех объектах также соответствует допустимым пределам для категории работ Па. Отклонения от допустимых пределов выявлены в теплый период года на объектах под номерами 3, 8, 9, 10, 11 и 16 (рис. 4).

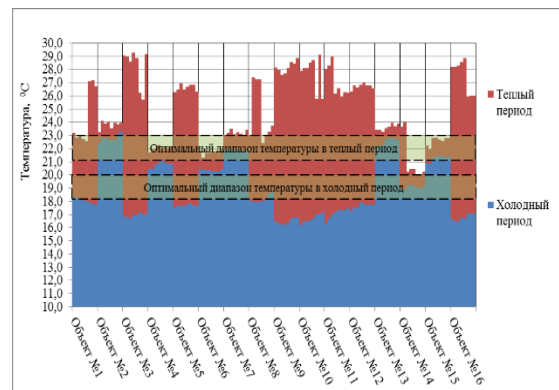


Рис. 5

На рис. 5 выявлена некоторая закономерность зависимости полученных результатов в теплый период и данных, полученных в холодный период. На объектах, где температура в холодный период соответствовала диапазону низких предельных значений, в теплый период температура соответствует верхнему пределу. На объектах под номерами 2, 4, 6, 7, 13, 14 и 15 температура в холодный период соответствовала оптимальной или была выше. В теплый период на этих объектах температура стремилась также к оптимальным значениям.

Данные закономерности можно связать с теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций и системой вентиляции и кондиционирования воздуха в цехах. На объектах с низким сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций в комплексе с плохо функционирующей системой вентиляции и кондиционирования ожидаемо будет жарко летом и холодно зимой [9...12].

## В Ы В О Д Ы

Требования к температуре воздуха в СанПиН 1.2.3685-21 были ужесточены сокращением допустимых диапазонов, что выявило на 6 исследуемых объектах отклонения от верхних допустимых пределов температуры в теплый период. На этих объектах необходимо утеплить ограждающие конструкции и модернизировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, обеспечивающие создание комфортных условий в рабочей зоне. Также следует осуществить рациональную организацию технологических процессов, включающих операции, связанные с выделением в рабочие помещения влаги, вредных паров, газов, аэрозолей и поступления в них теплого и холодного воздуха.

На остальных объектах рекомендуется проводить в системном порядке основные технические мероприятия по поддержанию воздуха рабочей зоны в требуемых пределах [13...17].

1. Меры государственной поддержки отрасли легкой промышленности России // Минпромторг. – Легпром, 2022.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 сентября 2020 г. № 1426 "Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям промышленности на возмещение части затрат на обслуживание кредитов, направленных на увеличение объемов реализации продукции и повышение конкурентоспособности российской промышленной продукции".

3. ИТС39 – 2017. Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции).

4. Орлов Г.Г., Булыгин В.И., Виноградов Д.В. и др. Инженерные решения по охране труда в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985.

5. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

6. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.

7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

8. Сугак Е.Б. Особенности создания и функционирования современной системы управления охраной труда // Безопасность жизнедеятельности. – 2019, № 10 (226). С. 3...7.

9. Сугак Е.Б. К вопросу об экономической целесообразности мероприятий по охране труда // Безопасность жизнедеятельности. – 2018, № 5 (209). С.3...8.

10. Король Е.А., Бакрунов Ю.О., Луняков М.А. Перспективные направления развития научных исследований в области повышения безопасности труда в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022, № 9 (1057). С. 16...18.

11. Король Е.А., Барабанова Т.А., Луняков М.А. Верификация нормативных и методических требований по охране труда в строительном и ремонтно-строительном производстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022, № 9 (1057). С. 30...34.

12. Король Е.А., Доможилев В.Ю., Шелопаева Ю.Е. Систематизация организационно-технологических мероприятий по охране труда в организационно-технологической подготовке ремонтно-строительного производства // Строительство и архитектура. – 2022. Т. 10. № 2. С. 36...40.

13. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Osyko A.A. Influence of temperature on durability of concrete exposed to liquid corrosion // Proceedings of EECCE 2019. EECCE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 70. – Springer, Cham, 2020. P. 145...155. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3\_13.

14. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B.E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. Vol. 1926. P.012057. DOI:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>.

15. Попов Е. В., Владимирова О.А., Сопилов В.В., Лабудин Б.В., Румянцева В.Е. Особенности расчета составных балок перекрытий текстильных предприятий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С. 250...256.

16. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Возможность термодинамической рекуперации в системе воздушного теплового насоса для автоматизированного управления микроклиматом небольших производств текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С. 124...127.

17. Шамшина К.В., Мигунов В.Н., Овчинников И.Г., Румянцева В.Е. Влияние коррозионных продольных трещин на деформационные свойства и безопасность изгибаемых железобетонных конструкций объектов текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С. 130...135.

## REFERENCES

1. Measures of state support for the light industry of Russia // Minpromtorg, Light Industry, 2022.

2. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1426 dated September 14, 2020 "On Approval of the Rules for Granting Subsidies to Russian Industrial Organizations for Reimbursement of Part of the Costs of Servicing Loans aimed at Increasing the volume of sales and Increasing the Competitiveness of the Russian Industrial products".

3. ITS39 – 2017 Manufacture of textile products (washing, bleaching, mercerization, dyeing of textile fibers, bleaching, dyeing of textile products).

4. Engineering solutions for labor protection in construction. Orlov G.G., Bulygin V.I., Vinogradov D.V. et al. - Moscow: Stroyizdat, 1985.

5. GOST 12.1.005-88 System of safety standards. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area.

6. SP 2.2.3670-20 Sanitary and epidemiological requirements for working conditions.

7. SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic norms and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans.

8. Sugak E.B. Features of creation and functioning of a modern occupational safety management system // Life safety. – 2019. No. 10 (226). P. 3...7.

9. Sugak E.B. On the question of the economic consistency of labor protection measures // Life safety. 2018. No. 5 (209). pp. 3...8.

10. Korol E.A., Bakrunov Yu.O., Lunyakov M.A. Promising directions for the development of scientific research in the field of improving labor safety in construction and housing and communal services // BST: Bulletin of construction technology. – 2022. No. 9 (1057). pp. 16...18.

11. Korol E.A., Barabanova T.A., Lunyakov M.A. Verification of regulatory and methodological requirements for labor protection in construction and repair and construction production // BST: Bulletin of construction equipment. 2022. No. 9 (1057). pp. 30...34.

12. Korol E.A., Domozhilov V.Yu., Shelopaeva Yu.E. Systematization of organizational and technological measures for labor protection in organizational and technological preparation of repair and construction production // Construction and architecture. 2022. Vol. 10. No. 2. p. 36...40.

13. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Osyko A.A. Influence of temperature on durability of concrete exposed to liquid corrosion // Proceedings of ECEE 2019. ECEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 70. – Springer, Cham, 2020. – Pp. 145...155. DOI:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_13).

14. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B.E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1926. – P. 012057. DOI:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>.

15. Popov E. V., Vladimirova O.A., Sopilov V.V., Labudin B.V., Rumyantseva V.E. Features of calculation of composite floor beams of textile enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, No. 6. P. 250...256.

16. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Oparina L.A. The possibility of thermodynamic recovery in an air heat pump system for automated climate control of small textile industries // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, No. 1. P. 124...127.

17. Shamshina K.V., Migunov V.N., Ovchinnikov I.G., Rumyantseva V.E. Influence of corrosion-resistant longitudinal cracks on deformation properties and safety of bent reinforced concrete structures of textile industry objects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, No. 2. P. 130...135.

Рекомендована кафедрой жилищно-коммунального комплекса. Поступила 21.11.22.

УДК 746

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_195

## СИМВОЛИКА В ТЕКСТИЛЬНОМ РИСУНКЕ

## SYMBOLISM IN TEXTILE DRAWING

Ю.А. ЩЕПОЧКИНА

YU.A. SHCHEROSHKINA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

*Проведен анализ текстильных рисунков с "агитационной" символикой в различные периоды становления мировой текстильной промышленности. Показано, что символика "агитационного" текстиля изменяется в зависимости от проводимых культурных, спортивных, а также от политических и экономических событий в мире.*

*The analysis of textile drawings with "propaganda" symbols in various periods of the formation of the world textile industry is carried out. It is shown that the symbolism of "propaganda" textiles varies depending on the cultural, sports, as well as political and economic events in the world.*

**Ключевые слова:** ткань, текстильный рисунок, символика.

**Keywords:** fabric, textile drawing, symbolism.

Во многих странах на протяжении столетий были востребованы ткани с рисунками, несущими определенную символику. Чаще всего, как на восточных, так и на европейских старинных тканях, встречается растительный орнамент. Казалось бы, какие символы могут быть скрыты в изображении растений? Самые разнообразные. Например, в XVI-XVII вв. в Турции, находившейся под сильным влиянием персидского искусства, изготавливались бархатные ткани с рисунком, изображающим цветок гвоздики, выполненный с коротким

стеблем и двумя удлинёнными листками по бокам (рис.1 – фрагмент ткани, Турция, XVII в.), который символизировал природное богатство Османской империи и представлял ее как прообраз рая [1]. Не удивительно, что дорогие восточные ткани, украшенные растительным орнаментом, купленные или доставшиеся европейцам в качестве трофеев, использовались для изготовления специальных покрывал, применявшихся на богослужениях [1]. При этом в европейских текстильных рисунках появляются христианские символы, а также со-



ставляются тканевые сложные композиции (рис. 2 – тканевая художественная композиция, Европа, XVIII в.) с библейскими сценами [2]. В XVI-XVIII вв. на польских и литовских тканях своеобразный растительный орнамент мог символизировать принадлежность ее обладателя к какой-либо местности [3]. Ничего подобного нельзя сказать об интересных, с художественной точки зрения, российских набивных тканях. Русская набойка XVII- XVIII вв. испытывала значительное влияние декоративных изделий других стран (Индия, Персия, Турция, Испания) [4]. При этом сложные узоры подвергались переработке и упрощению, получали совершенно иное восприятие. В декоре таких тканей нередко присутствовал

цветочный мотив [5], но его символика, в отличие от восточных тканей (рис.1), была полностью утрачена, как это показано на примере российских набивных тканей, украшенных растительным орнаментом (рис. 3 – фрагмент ткани, Россия, XVII-XVIII вв.). Заметим, что рисунки тканей привозились и иногда заимствовались русскими мастерами с европейских фабрик, на них зачастую присутствовали причудливые растительные орнаменты, цветочные гирлянды, вазы с цветами [6]. Естественно, что никакого символического смысла в эти рисунки, призванные разнообразить и улучшить ассортимент выпускаемых тканей, уже не вкладывалось.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

В связи с бурным развитием техники и промышленного производства в середине XIX - начале XX вв. в оформлении тканей постепенно начинает появляться техническая и производственная тематика. В 1928 г. в СССР наметилось направление в декорировании набивных тканей, которое пропагандировало своими рисунками достижения промышленности и сельского хозяйства. При этом считалось, что текстиль должен быть не только активным строителем массовой художественной культуры, но и фактором активного эмоционального и идеологического воздействия в том направлении, которое требуется для эпохи социалистического строительства [7]. Инициаторами индустриально-сельскохозяйственной тематики были выпускники текстильного факультета Высшего художественно-технического института, объединившегося в 1929 г. в текстильной секции ОМАХРРа (Объединения молодежи Ассоциации ху-

дожников Революционной России). Художники украшали ткани тематическими рисунками, посвященными сельскому хозяйству, коллективизации, индустриализации страны, спорту. Так называемый, "агитационный" текстиль, сформировался на основе конструктивизма и в разной степени присутствовал в продукции всех центров текстиля СССР [4]. Это было художественное явление с четко выраженными особенностями композиционных решений и символами, отражающими достижения нового строя: изображения колхозников и рабочих, тракторов, сеялок, комбайнов, корпусов заводов, самолетов, дирижаблей, причем нередко вместе с традиционным растительным орнаментом. Однако такие сочетания в ряде случаев не производили должного впечатления, плоскостные рисунки машин не увязывались с красочными цветочными рисунками. Тематические мотивы – аэропланы, мачты электропередач, паро-



возы, шестерни – располагались по правилам шахматного раппорта, были неинтересны по силуэту. Недекоративные и тусклые по расцветкам ткани вызвали недовольство потребителей [4], но продолжали выпускаться промышленностью. Особенно большое количество тканей (около 25 % от всех советских тканей) было выпущено на предприятиях Ивановской области [8]. При

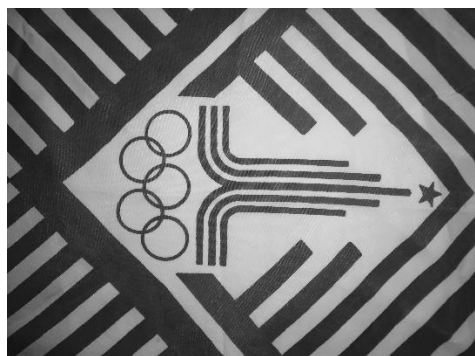


Рис. 4

Массовый выпуск тканей с "агитационной" символикой был обязательным и сохранялся до 1933 г., а позже подвергся резкой критике (в том числе, в газете "Правда"), отчасти весьма справедливой. В последующие годы интерес к тканям с рисунками, символизирующими достижения советской промышленности и сельского хозяйства, заметно ослабел. В 50-80-х годах прошлого века ткани с рисунками на производственную тематику почти не пользовались спросом. На тканях, помимо традиционного цветочного мотива, можно было найти изображения, символизирующие достижения науки и техники (спутник, ракета и т.п.), а также политическую и спортивную символику, особенно актуальную в период проведения в г. Москве Олимпиады-80 (рис. 4 – фрагмент ткани, СССР, 1980 г.). Отметим, что именно спортивная символика на тканях была наиболее востребована на протяжении последних десятилетий и сохранила актуальность в наши дни. Олимпиада-2014, проведенная в г. Сочи, также нашла свое отражение в своеобразных, красочных художественных композициях на ткани. В "олимпийском" текстильном рисунке (рис. 5 – фрагмент ткани, Россия,

этом ткани с символами, отражающими достижения нового строя, все равно оказались востребованными у населения. Это произошло, возможно, только потому, что ткани с другими не "агитационными" рисунками практически не выпускались промышленностью, а выпущенные ранее были в дефиците.



Рис. 5

2014 г.) явно просматривается символическая связь с различными регионами страны, их традиционными промыслами: здесь стилизованные хохломская и борецкая росписи, вологодское кружево, ивановские ситцы. Композиция собирает эти "визитные карточки" регионов как бы воедино, создавая впечатление многообразия и самобытности. Таким образом, текстильный рисунок является отражением сложившейся среды, его символика изменяется в зависимости от проводимых культурных, спортивных, а также от политических и экономических событий в мире. Есть основания полагать, что находящаяся вне идеологических рамок спортивная символика останется востребованной в текстильном рисунке и в будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Kalfas B.* Konserwacja kapy procesyjnej z Kęst // Spotkania z zabytkami. – 2019, № 3-4. S.46...50.
2. *Możdżyńska-Nawotka M.* Unikatowa tkanina ze Zgorzelca // Spotkania z zabytkami. – 2019, № 1-2. S.46...47.
3. *Historia sztuki polskiej.* T. 3. Sztuka nowoczesna. – Kraków: Wydawnictwo literackie, 1965.
4. *Коновалов А.Д.* Плат узорный. – М.: Моск. Рабочий, 1981.

5. Чешкова А.В., Владимирцева Е.Л., Шибашова С.Ю., Козлова О.В. Химические технологии в дизайне текстиля / Под ред. А.В.Чешковой. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2013.

6. Кохова Л.А. Ситцевые короли. Из истории текстильной промышленности Ивановской области. – Иваново: Литос, 2014.

7. Рогинская Ф.С. Советский текстиль. – М.: Художественное издательское акционерное общество АХР, 1930.

8. Мизонова Н.Г., Крылов М.И. Ткани с надписями и политическими сюжетами как продолжение мировых традиций в Ивановском текстиле // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 5. С. 144...149.

3. Cheshkova A.V., Vladimirtseva E.L., Shibashova S.Yu., Kozlova O.V. Historia sztuki polskiej. T. 3. Sztuka nowoczesna. – Kraków: Wydawnictwo literackie, 1965.

4. Konovalov A.D. Patterned Headscarf. – M.: Mosk. Rabochyi, 1981. –176 p.

5. Chemical technologies in textile design // Edited by A.V. Cheshkova. – Ivanovo: Ivanovo State chem.-tech. University, 2013.

6. Kokhova L.A. Calico kings. From the history of the textile industry of the Ivanovo region. – Ivanovo: Litos, 2014.

7. Roginskaya F.S. Soviet textile. – M.: Art Publishing Joint Stock Company AHR, 1930.

8. Mizonova N.G., Krylov M.I. Fabrics with inscriptions and political plots as a continuation of world traditions in Ivanovo textiles // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016, № 5. P. 144...149.

## REFERENCES

1. Kalfas B. Konserwacja kapy procesyjnej z Kęt // Spotkania z zabytkami. – 2019. № 3-4. P. 46...50.

2. Możdżyńska-Nawotka M. Unikatowa tkanina ze Zgorzelca // Spotkania z zabytkami. – 2019. № 1-2. P. 46-47.

Поступила 31.10.22.

УДК 746.41:687.01:7.036(4)  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_198

## РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ РЕТРОСТИЛЕЙ В ИСТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ МОДЫ

## REPRESENTATION OF RETRO STYLES IN THE HISTORY OF EUROPEAN FASHION

*С.М. ВАНЬКОВИЧ, Г.Н. ГАБРИЭЛЬ*

*S.M. VANKOVICH, G.N. GABRIEL*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University Industrial Technologies and Design)

E-mail: smvan2000@gmail.com; Gabrielart@mail.ru

*В статье, основанной на материалах из собраний отечественных и зарубежных музеев, частных коллекций костюма и ювелирных украшений, репродукциях произведений изобразительного искусства, моделей, представленных на дефиле в разные годы, рассматривается эволюция ретроспективных направлений в западно-европейском и русском женском костюме. Авторами исследуется комплекс факторов, оказавших влияние на формирование ретро-стилей в женской моде и ювелирном искусстве с XIX до первых десятилетий XXI вв.*

*The article, based on materials from the collections of domestic and foreign museums, private collections of costume and jewelry, reproductions of works of fine art, models presented at the fashion show in different years, examines the evolution*

*of retrospective trends in European and Russian women's costume. The authors investigate a complex of factors that influenced the formation of retro styles in women's fashion and jewelry art from the nineteenth to the first decades of the twenty-first centuries.*

**Ключевые слова:** костюм, ювелирные украшения, мода, стиль, ретро-спекция, коллекции моделей.

**Keywords:** costume, jewelry, fashion, style, retrospection, collections of models.

Ретроспективные тенденции в европейской моде, как устойчивое явление, возникли давно. Этот художественный феномен основывался на переживании истории, которая в образах прошлого представляла в утверждении нового эстетического идеала красоты конкретного времени. Выражениям художественных вкусов любого исторического периода всегда наиболее ярко отвечали костюм со всеми его составляющими: аксессуарами и ювелирными украшениями. Ретростили в костюме сегодня, как правило, ассоциируются с модой на винтажную одежду и ограничиваются временем полувековой давности. Однако ошибкой для специалистов было бы принять подобное предположение, не пытаясь разобраться в особенностях этого уникального явления, проследив в историческом контексте мотивации и причины возвращения в европейскую моду тех или иных образов из прошлых эпох.

В период формирования и роста первых европейских городов "...информация преодолевала расстояния, и мода проникала повсюду, где говорили и писали на латинском языке" [1, с.75]. Западно-европейский костюм в эпоху позднего Средневековья развивался достаточно активно, с интересом воспринимая экзотические восточные новинки, но эти заимствования не носили ретроспективного характера, ибо являлись для европейцев настоящими нововведениями. Первые робкие попытки возвращения к прошлому в образе костюма можно наблюдать в эпоху Возрождения. Этот художественный стиль, как антитеза Средневековью, был по сути ретроспективным, ибо возрождал забытую веками античность. Костюм раннего ренессансного периода был ориентирован на определенный возраст: молодежная одежда стала преобла-

дающей в моде флорентийского направления, что привнесло во внешний облик то особое благородство простоты, которое утверждала новая эстетика. Силуэты женских флорентийских нарядов в той или иной степени подражали формам костюмов античности. Эти черты сказывались в лаконичности и пластике формы, использовании мягких драпирующихся тканей. Одежда повторяла естественные очертания человеческого тела, подчеркивая тем самым изящную грацию и природную красоту молодости. В культуре раннего Возрождения, как и в эпоху античности, культ юной стройной фигуры посредством формирования костюма был определяющим.

Интерес к античной культуре прослеживался и в ювелирном искусстве. Прямого подражания формам, стилистике украшений Древней Греции и Древнего Рима почти не встречается, поскольку они не были достаточно известны ювелирам Возрождения. Эти влияния были, скорее, опосредованные: библейским сюжетам предпочитали мифологические, в украшениях появляется архитектурная стройность, симметрия, свойственные античным вещам. Изменения в ренессансном женском костюме – появление большого декольте, освобождение от сложных объемных головных уборов, дают толчок развитию соответствующих шейных и головных украшений. На портретах этой эпохи мы видим массивные жемчужные ожерелья, диадемы, декоративные подвесы, отражающие всю сферу эстетических и жизненных интересов эпохи Возрождения.

Не исключением оказался и классицизм, провозгласивший второе обращение к античной эстетике на рубеже XVIII-XIX веков. Некоторые зарубежные исследователи по праву называют этот период неокласси-

цизмом, терминологически подтверждая факт его ретроспективного характера. Женская мода этого времени буквально копировала античные образцы костюма, украшений, обращаясь, как и в эпоху Ренессанса, к косвенным источникам: скульптуре, архитектуре, росписям древнегреческой керамики, монументальной живописи. Страсть к античным камням или их современным копиям, украшавшим роскошные парюры "а ля антик", наглядно демонстрируется на многочисленных портретах того времени, особенно эпохи ампира.

Историзм (1820-1880 гг.) в искусстве и в моде оказался первым в истории ретроспективным направлением, когда прообразом для подражания выступал не один, а сразу несколько художественных стилей прошлого. Не случайно этот период в истории пространственных искусств вообще и в развитии моды, в частности, называют эклектичным, что позволило Георгу Ленарду в 1910 году в "Иллюстрированной истории прикладного искусства" обозначить эту эпоху как "время ретроспективного взгляда" [2, с.11].

В первый этап историзма (1820-1840 гг.) романтические тенденции в костюме проявлялись весьма разнообразно. "Ориенталистическое направление и национальные мотивы, черты Средневековья и Возрождения, образы барокко и рококо. Большие исторические стили цитировались в определенной последовательности. Причем воссоздание стилистических прообразов в костюме в период исторического романтизма было неодинаковым. Вначале наблюдалась поверхностная имитация каждого из обозначенных периодов. Например, средневековье в костюме передавалось "изображением" известных готических архитектурных форм. К концу 1840-х годов в поисках исторических прообразов начали обращаться непосредственно к самому историческому костюму конкретного периода, копируя детали одежды и дополнения близко к оригиналу" [3, с. 115].

Можно согласиться с некоторыми западными исследователями, традиционно связывающими развитие европейской моды второго периода историзма (1850-

1880 гг.) с личными вкусами французской императрицы Евгении и ее влиянием на женский костюм. Роль монархов, безусловно, была весьма важна в это время, но появление неостилей в моде имело более глубокие исторические и стилистические причины. Для новой буржуазии Наполеона III блеск и великолепие европейских дворов прошлых эпох были эталоном для подражания. Особенно привлекательными в ностальгической моде середины XIX столетия стали эпоха барокко и блистательный XVIII век, хранившие память о роскоши французской аристократии. Именно поэтому неостили в искусстве и моде этого периода назывались именами французских королей. Источниками воспроизведения исторического костюма являлись, как правило, произведения живописи и, опосредованно, модные исторические романы. Предполагалось, что не только светские дамы были знакомы с романтической литературой, но и портнихи, исполнявшие непосредственно для них новые модели, должны были знать особенности нарядов из прошлых эпох. Дамы "...заказывали свои платья предпочтительно портнихам, обладающим некоторой дозой начитанности и знакомым с историей других народов, и тем им создавали греческие или турецкие корсажи, польские кофты, китайские тюники, венгерские доломаны и русские амазонки" [4, с. 146.]. Подобное отношение к исполнителям костюма в середине XIX века свидетельствовало о возросшей роли профессии дамского портного и его непосредственном влиянии на развитие модных тенденций. Отличительной чертой 1850-1860-х гг. в женском костюме стал каркасный силуэт – лиф, затянутый в корсет и очень широкая юбка на кринолине (рис. 1), который был возвращен в моду из прошлого родоначальником парижской модной индустрии Чарльзом Фредериком Воротом. Он был основателем в 1858 году первого Дома моды в Париже, являясь автором почти всех изменений, которые происходили в европейском дамском костюме во второй половине XIX века. Все его творчество буквально пронизано ретроспективными решениями.



Рис. 1



Рис. 2

В середине XIX столетия, как и сто лет назад, ширина дамской юбки внизу достигала максимальных размеров, при этом корсет в области талии затягивали до 45...50 см. В оформлении силуэта ясно прослеживалось подражание XVIII веку. Криволины были популярны повсеместно, и мода на них держалась более десяти лет. Хотя эти каркасные конструкции были крайне нецелесообразными и ограничивали возможность передвижения женщин, создавая курьезные, а иногда и трагические ситуации в развивающихся городах. Во второй половине XIX века европейский ритм жизни требовал иных представлений о женском костюме. Достаточно вспомнить, что в это время появлялся общественный транспорт, распространялось железнодорожное сообщение, а в некоторых городах строились метро. Обычно на изготовление такого модного платья затрачивали более 15 метров ткани, причем отделки были также многочисленны. Легкие криволины несли на своей каркасной металлической основе каскады воланов и кружев, оборок и рюшей. Даже пеньюары в это время требовалось носить с криволинами. Текстильщики буквально боготворили Ч. Ф. Ворта, потому что их прибыли от продаж тканей напрямую зависели от его ретроспективных рекомендаций своим клиентам.

После исчезновения криволина (конец 1860-х - начало 1870-х гг.) в европейском дамском костюме стал использоваться турнюр, который тоже был исторической цитатой из XVIII столетия. Это "нововведение" не исключало каркасного решения костюма, но вместо криволина-абажура в

юбке стали создавать накладные конструкции, увеличивающие объем женской фигуры ниже линии талии со стороны спины (рис. 2). Сочетание разных направлений и стилистических прообразов было характерной чертой моды в женском костюме второй половины XIX века. Но художественные принципы построения костюма этой эпохи не воспринимались современниками как перегруженность формы, столь же модной и в интерьере рассматриваемого периода, а также в предметах декоративно-прикладного искусства.

Историческое мышление захватило тогда и ювелирное искусство, где мастера отдавали дань практически всем стилям прошлых эпох. При этом степень приближенности к оригиналу в ювелирных произведениях менялась со временем "...в соответствии с развитием исторических и естественных наук, активизацией археологических раскопок, бурным ростом промышленности: от достаточно хаотичного заимствования и смешения отдельных форм и деталей орнамента в раннюю эпоху романтизма, к точному воспроизведению оригинала к концу историзма или созданию авторской художественной реплики" [5, с. 59].



Рис. 3



Рис. 4

Одним из самых устойчивых художественных увлечений историзма в ювелирном искусстве становится античность. Пожалуй, наиболее последовательно и успешно эту тему воплотила тогда итальянская фирма Кастеллани в Риме, ставшая местом паломничества европейских туристов, желающих приобрести реплики античных украшений. Мастера этой ювелирной ком-

пании старались максимально точно воспроизводить их формы и декор, восстанавливая утраченные ювелирные техники (рис. 3).

Довольно рано сформировался в ювелирном искусстве и стиль неоготики. Во Франции он был ярко представлен Франсуа Фроман Мерисом, работами которого восхищались Виктор Гюго и Наполеон III. Работы Мериса оказали огромное влияние на европейских и, особенно, английских художников. В его ювелирных миниатюрах доминировали сюжеты из куртуазной поэзии, жизни святых; в них свободно смешивались различные стилевые элементы, орнаменты, старые и новейшие ювелирные технологии XIX века (рис. 4). Талантливо работали в исторических стилях и такие мастера, как Эжен Фонтен, Гиацинт Мелило, Эрнесто Пьерре, Жюль Вьез и многие другие. Обращаясь к оригиналам той или иной эпохи, они создали, тем не менее, свой стиль, где соединились "...редкий вкус, интеллигентность, духовность и мастерство" [6, с. 30].

Все составляющие костюма: одежда, аксессуары, дополнения и обувь в художественно-стилистических приемах воспроизводили ту или иную историческую эпоху. Женская обувь второй половины XIX века часто повторяла формы XVIII столетия, дамский каблук так и назывался "Людовик XV". Веера этого периода также выполняли в подражании веерам эпохи рококо, только для экранов вместо настоящей живописи использовалась раскрашенная литография, а еще чаще веера изготавливали из кружева или ткани. Кстати, с усовершенствованием освещения интерьеров, с середины XIX столетия веера перестали иметь функциональный характер, и перешли в разряд чисто декоративного дополнения к дамскому костюму. В этом случае историчность вееров можно считать безусловной: почти на всех парадных портретах того времени дамы изображались с веером, что свидетельствовало о традициях этикета, хранившего в памяти образы галантного века.

В моде второй половины XIX столетия поиски нового эстетического идеала намечались в двух направлениях: ретроспектив-

ном и рационалистическом. Причем в это время женская мода в большей степени была подвержена ретроспекции, чем рациональным критериям. Новые, более важные практические задачи по формированию женского костюма были обозначены на рубеже XIX-XX вв., но эпоха историзма продемонстрировала опыт творческого обращения к стилистическим реминисценциям прошлых лет и поэтому такой прием оказался впоследствии актуальным. Насколько жизненной была подобная тенденция моды, подтверждает процесс эволюции европейского женского костюма в XX веке.

Мода в женском костюме нового столетия изменилась не в канун 1900-х годов, а несколько позже. Первое десятилетие наступившего XX века проходило в искусстве и моде под знаком стиля ар нуво. Этот период не случайно называли "прекрасной эпохой". Идеальным образом женщины была "неземная", далекая от реальной жизни недостижимая красавица. Она, по мнению современников, должна была напоминать прекрасный цветок, экзотическое эфемерное создание. Не случайно художники ар нуво часто изображали женщину в виде сказочной ундины, колдовской русалки, воздушной феи. Создавалось двойное впечатление от подобного женского образа: бесстрастной неприступной красавицы и одновременно волшебницы-колдуньи, расточающей губительные волны очарования и соблазна. Эстетический идеал красоты и, соответственно, костюм очень робко "примерял" на себя новый облик. Отечественный театральный художник и известный живописец Леон Бакст, работая в ориентальном стиле над созданием сценических костюмов для антрепризы Сергея Дягилева "Русские сезоны", создал так называемое "восточное направление" в европейской моде первой четверти XX века (рис. 5). В моду, буквально со сценических подмостков, вошли ориентальные ковры, гаремные шаровары шинтиян, драпировки, тюрбаны, эгреты и перья, восточные подушки и абажуры. Стали естественно восприниматься яркие, не свойственные стилю ар нуво, цветовые сочетания лилового и синего, желтого и красного, зеленого и оран-



жевого. Оформление балета "Шехеразада" способствовало не только распространению восточных мотивов, но и включению их элементов в европейскую моду. "Мировая известность Льва Самойловича Бакста связана, прежде всего, с грандиозным успехом "Русских сезонов" Дягилева. Оформление балетов <...> вызвало буквально переворот в мироощущении парижан, а затем многих других европейцев и американцев. Бакст стал не просто известен, он стал модным. У художника брали бесчисленные интервью, стиль его театральных костюмов проникал в повседневную жизнь. На парижскую, а значит, и на мировую моду стали влиять эстетические идеи и колористические находки Бакста" [7, с. 29]. Эта тенденция была столь значительной, что ее отголоски были слышны в течение всего XX столетия. В эпоху модерна восточные мотивы, равно, как и античные прототипы воспринимались в искусстве и моде повсеместно.



Рис. 5



Рис. 6

Венецианский художник испанского происхождения Мариано Фортунни, немышлявший вначале о карьере модельера и занимавшийся декоративным текстилем вошел в историю моды XX столетия как новатор, создавший плиссированное платье дельфос (технология была запатентована им в 1909 году), которое универсально в своей ретроспективной эстетике и популярно уже более ста лет (рис. 6). Неогреческий характер его творений очевиден: источником вдохновения для Фортунни послу-

жили лаконичные по форме античные одежды, в которых отсутствовал крой, силуэт повторял абрис фигуры и создавался посредством скрупулезной вертикальной драпировки ткани. В древности на создание драпировок (поистине ваяние из ткани) уходило немалое время, а технологические приемы в виде закрепления маленьких шариков по подолу изделия завершали эту задачу наиболее выразительно. Фортунни, создавая свой поистине бессмертный дельфос, использовал уникальную авторскую технологию плиссировки шелковой ткани (а не драпировку, как в античности). В остальном же художник остался верен образу греческого хитона: крой в платье отсутствовал, плечевые и боковые детали соединялись бусинами муранского стекла, и по подолу ткань также утяжелялась прикрепленными в край стеклянными бисерными шариками.

Тема античности в это время увлекала еще одну знаменитую французскую художницу Мадлен Вионне. Свои модели, навеянные эффектными хитонами древней Греции, она не драпировала по вертикали, а выкраивала по косой нити (под углом 45 градусов), максимально используя пластичность шелковой ткани. Ее создания идеально вписывались в контекст эпохи модерна, предвосхищая эстетику будущего стиля ар деко. Мадлен Вионне среди иных источников вдохновения также весьма благоволила античному искусству.

Однако настоящие революционные изменения женская мода претерпела лишь в период первой мировой войны, и они происходили до конца 1920-х годов. Новые тенденции воплощались в силуэте и пропорциях одежды, прическах, гриме, обуви, аксессуарах, ювелирных украшениях, но главное – в образе жизни манере поведения, вкусах. Эмансипация и активная роль женщин в обществе способствовали резким переменам во внешнем облике. Военные события поистине глобального масштаба потребовали от представительниц "слабого пола" активных и решительных действий в социальной сфере, которые не были им свойственны ранее. Неспешная и, в определенном смысле, "теоретическая эмансипа-

ция" конца XIX - начала XX вв. выразилась в послевоенные годы отчетливо и стремительно, порой вопреки желанию самих женщин, призвав их на арену социальной и общественной деятельности. Дамы лишились корсетов, остригли коротко волосы, укоротили платья. Визуально же этот образ заканчивали аксессуары и украшения, в художественном оформлении которых и в выборе материалов прослеживались самые разные влияния и ретротенденции, хотя и не так ярко выраженные, как в эпоху историзма. В драгоценных украшениях фирм Картье, Мобуссан, Шоме появились формы, цветовые сочетания, материалы, заимствованные из ювелирного искусства Древнего Египта, Индии, Китая. Эти произведения, как правило, не копировали конкретные исторические артефакты, но стремились прежде всего передать их основные формальные и декоративные принципы.



Рис. 7



Рис. 8

Увлечения ретроспекциями в моде наблюдались в этот период повсеместно. Одним из популярных направлений стал неорусский стиль, который буквально захватил европейскую моду, когда все известные Дома мод в Париже создавали модели в русском стиле. Великий Поль Пуаре после турне по России демонстрировал новую коллекцию под названием "Казань", соединившую любимый им ориентализм и тему *a la ruse* (рис. 7). В предисловии к русскому изданию мемуаров Пуаре "Одевая эпоху" А. А. Васильев писал: "Москву он полюбил! Ламанова <...> показала ему Кремль, Щукинский музей современной

живописи и блошинный рынок на Сухаревке. Пуаре был в восторге от народных русских костюмов – сарафанов, косовороток, кокошников, кичек, шалей и платков – и привез их в Париж изрядное количество" [8, с. 11].

Не менее известная и знаменитая эмансипантка в области стиля и моды Габриэль Шанель, в период знакомства с Великим князем Дмитрием Павловичем, создавала в 1923-1924 гг. на основе фольклорной русской народной рубахи коллекции современных костюмов простых конструктивных форм, которые так полюбились французенкам. Геометрический крой и лаконичные формы народного костюма весьма кстати включились в контекст новой европейской женской моды в стиле *a la garçonne*. Ретроспективному направлению *a la ruse* в определенном смысле способствовали представители первой волны эмигрантов из революционной России. Многие из них открывали свои салоны и Дома мод в Париже, работая там с большим успехом. Об этой стороне жизни российской эмиграции во французской индустрии моды талантливо и увлекательно написал Александр Васильев в своей книге "Красота в изгнании. Творчество русских эмигрантов первой волны: Искусство и мода" [9].

В 1930-е годы ретроспекция в женской моде не теряла своей популярности. Одной из наиболее привлекательных эпох, которой стремились подражать в это время, была снова античность, но уже не греческая, а, скорее, римская. В таких европейских странах, как Италия, Испания, Германия, СССР, в это время формировались диктаторские режимы, которые в политическом, идеологическом и эстетическом контексте ориентировались на исторические имперские образцы. Римская империя являлась в данном случае абсолютным примером для подражания во всех видах искусства: живописи, скульптуре, зодчестве. Не стал исключением и костюм. Культ белого цвета, "архитектурная" статичность, "колоннообразный" силуэт, горизонтальные декольте, многочисленные драпировки – все эти черты можно было неоднократно наблюдать в коллекциях известных модель-



еров этого периода. Роль рекламы в модных журналах 1930-х годов перешла к кинематографу, самому массовому из всех видов искусств. Лучшими пропагандистками актуальных моделей являлись звезды Голливуда, тиражируя посредством черно-белого изображения на многочисленных экранах سینема новые тенденции моды неограниченному количеству зрителей.

Не менее интересно тема ретро представлена в творчестве талантливой художницы того времени Эльзы Скиапарелли, многие идеи которой базировались на знании как классического, так и современного искусства. Например, используя новые приемы декора тканей, она создавала вечерние шелковые платья, силуэт которых имитировал турнюры 1870-х годов. Известна ее обувь, напоминающая греческие сандалии с перекрещивающимися ремешками, рокайльные шелковые ботиночки на французском каблуке. В то же время достаточно трудно провести грань между ее ретроспективными увлечениями и новаторскими идеями, недаром Скиапарелли считается родоначальницей сюрреализма в костюме и ювелирном искусстве. Достаточно вспомнить ее брошь в виде телефонного диска, ожерелье с насекомыми, перчатки с маникюром и другие экстравагантные новации. Но и она неоднократно использовала в своем творчестве известные примеры из прошлых стилей и эпох.

Направление "new look", представленное в 1947 году французским кутюрье Кристианом Диором, внесло в послевоенную суровую действительность очарование женственности, которое выражалось в возвращении к традиционному ретроспективному образу дамы, изящной и прекрасной как в былые исторические времена. Х-образный силуэт создавался посредством туго затянутой талии (поясу-корсету) и широкой удлиненной юбки (рис.8). Весьма неожиданно, но в моду середины XX века вернулся, таким образом исторический силуэт XIX столетия. Разве что с некоторыми коррективами: длина юбки простиралась не до пола, а до середины икры, и талию акцентировали более гуманно: вместо жестких корсетов использовали новые эластичные ши-

рокие пояса или формирующие лиф грации. В послевоенной Европе с точки зрения экономической ситуации, рационального подхода, наконец, просто элементарной логики развития, стилистическое направление "new look" было совершенно не оправдано. Парадоксально, но это не остановило развитие подобной моды вплоть до начала 1960-х годов.

Во второй половине XX века и, особенно на рубеже XX-XXI веков, когда Модные дома и отдельные дизайнеры еще более настойчиво искали вдохновение в искусстве прошлых эпох, появлялись полноценные коллекции, выполненные в ретро-стилях. Историзм в этих случаях был основан не просто на ассоциативном восприятии прототипов ушедших эпох, как это наблюдалось в XIX столетии, а на глубоком знании художественных стилей прошлого, изучении музейных образцов исторического костюма и, соответственно, авторской интерпретации современных образов. Такие характеристики, как игнорирование стилистических особенностей, эклектичный характер, коллажность мышления художников, вполне вписывались в концепцию постмодернизма, в контексте которого, начиная с 1990-х годов, развиваются современная культура и искусство. Почти каждый автор модных коллекций одежды и ювелирных аксессуаров к ней, в той или иной степени представлял вариации на историческую тему: Ив Сен Лоран, Вивьен Вествуд, Жан Поль Готье, Николя Гескьер, Нарцисо Родригес, Кристиан Лакруа, Александр Маккуин.

Джон Гальяно еще в молодые годы прославился благодаря своему увлечению интерпретировать исторические стили прошлого. Его первая выпускная коллекция "Les Incroyables", вдохновленная модой французской буржуазной революции, была удостоена внимания прессы и зрителей. Далее, в своей профессиональной деятельности, создавая кутюрные модели, Гальяно много раз обращался к стилям прошлых эпох. Коллекция Гальяно 1998 года возвращает нас в атмосферу эпохи ар деко. Для модельера важным источником вдохновения являлись работы "императора моды"

эпохи модерна Поля Пуаре. "Гальяно часто черпает свои идеи из истории моды, но это не значит, что он буквально копирует, он создает новый образ" [10]. Гальяно в этой коллекции воскресил объемный силуэт моделей Пуаре первого десятилетия XX века (рис.9). Смело были подобраны различные оттенки кораллового и золотистого бархата, активно использованы аппликации контрастных цветов, а также вышивка золотными нитями, бисером и стразами. В 2004 году Гальяно выпустил оригинальную коллекцию одежды в стиле древнеегипетского искусства. Скульптурные одежды фараонов из парчи, сплошь усыпанные золотистыми пайетками, стилизованные головные уборы, цветные парики, роскошные украшения, макияж, прически, обувь были представлены в современном дефиле как величественный исторический спектакль (рис. 10)

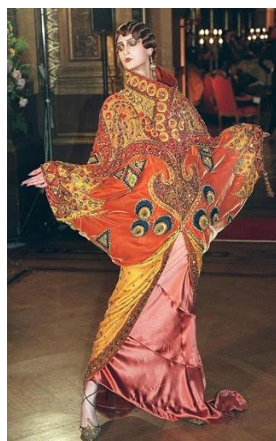


Рис. 9



Рис. 10

Английский дизайнер Том Браун, известный индивидуальным почерком и экстравагантным видением моды, в коллекции "Весна-лето-2020" обратился к галантной эпохе рококо (рис. 11). Костюмы с кринолинами и фикжмами, конструкции которых подчеркивали утрированные формы, женские платья с нарисованными фрагментами рокайльных деталей, остроносые туфли с бантами и французскими каблуками на платформе, корсеты и высокие парики возвращали зрителя к культовым нарядам второй половины XVIII века. "Так среди сюрреалистичных декораций, имитирующих версальские сады в Париже, прошел показ

новой коллекции Тома Брауна. Между розами и фонтанами мраморно-белого цвета прохаживались модели, одетые словно юная Мария-Антуанетта – беззаботно, затейливо и бесконечно очаровательно" [11]. Но при всей эпатажности образов это была яркая современная коллекция, ретроспективный характер которой с определенной долей иронии объяснил сам модельер: "Что будет, если совместить рок, оперу и стиль рококо? I really like sports", – написал Браун в своем инстаграмме, анонсируя эту коллекцию [12].

Среди наиболее известных отечественных модельеров к историческим темам неоднократно обращалась Татьяна Парфенова. Коллекции: "Панночка" (2006 год), "Реставрация" (2006 год); "Красавица" (2007 год); "12 ночь" (2012 год); "Русский ампир"; (2012 год); "Цигун" (2015 год); "Жабо" (2016 год); "Перемена" (2018 год) – все они были инспирированы ретроспективными ассоциациями.



Рис. 11



Рис. 12

Одна из последних коллекций Татьяны Парфеновой 2021года "Дон Жуан" интерпретирует образы ренессансной моды венецианского периода (рис.12) Использование кодовых знаков костюма эпохи Возрождения: прозрачные фактуры дамских платьев с вкраплением мерцающих частиц и контрастные черные ткани; белые плюсовые воротники "фреза" и реалистичные в своих сюжетах вышивки; декоративный грим – не оставляют сомнения в воспроизведении конкретного исторического прототипа, но

при этом в каждой из моделей ощущается создание совершенно нового современного художественного образа. Коллекцию дополняют ювелирные украшения, которые всегда занимали важное место в творчестве Татьяны Парфеновой. Удачным примером в этом плане следует назвать ее коллаборации с ювелиром Надеждой Бойко (бренд Nadia Azenet), недавно создавшей серию украшений "Цветы и листья кувшинок" из цветных полудрагоценных и драгоценных камней для коллекции модельера "Черная стрекоза". Вырезанные из нефрита и янтаря цветы и листья в виде массивных серег, браслетов, коле, органично дополнили образный строй всей коллекции, подчеркнув роскошь уникальной ручной вышивки моделей Парфеновой.

Музейные собрания исторических костюмов и ювелирных украшений, информация из печатных и интернет-источников, знакомство с уникальными экзотическими культурами – все это позволяет художникам-модельерам и ювелирам создавать ретроспективные, но современные по своему художественному воплощению модели одежды и украшений. Необходимо отметить достаточное количество новаторских решений в современной индустрии моды, прежде всего, это новые материалы и технологии. Но этапы радикальных изменений в пропорциях, силуэтах и формах европейского костюма и ювелирного искусства на протяжении прошлых веков и теперь уже в XXI столетии не смогли исключить периодического обращения создателей костюма к историческим образам прошлых эпох. Ностальгические источники вдохновения, которые авторы ищут в прошлом, дают возможность создавать наиболее креативные и эмоционально окрашенные коллекции. Прототипами для модельеров выступают не только исторические костюмы, конкретные ювелирные изделия, но и произведения живописи, архитектуры, литературные источники, предметы материальной культуры различных времен и народов.

Эта проблема становится сегодня особенно актуальной в вопросах теории и практики современной моды. Исследуя подобные явления в культуре и искусстве

прошлого, возможно определить законы, формирующие направления моды того или иного периода, проследить особенности и закономерности различных изменений в современном костюме и ювелирном искусстве. Поэтому так важно понимать и анализировать процессы, происходящие как в историческом контексте, так и в современной перспективе развития моды, выявляя стилистические особенности и прогнозируя будущие тенденции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ястребицкая А.Л.* Западная Европа XI-XIII веков: Эпоха. Быт. Костюм. – М.: Искусство, 1978.
2. *Лопато М.Н.* Историзм как художественное явление // Сб. Стиль и эпоха в декоративном искусстве 1820-1890 - е годы. – СПб.: АО "Славия", 1996.
3. *Ванькович С.М.* Костюм в плену эклектики: архитектурно-стилистические ассоциации. – М.: АВАТАР, 2015.
4. Дамские моды XIX века / Историко-художественная монография о женских нравах и вкусах. С многочисленными рисунками, иллюстрирующими эволюцию женского туалета с 1797 по 1898 гг. / Издание редакции "Нового Журнала Иностранной Литературы" – С.-Петербург, Типография А. С. Суворина, 1899 / [3].
5. *Габриэль Г.Н.* Историзм в ювелирном искусстве. Взгляд из эпохи постмодернизма // Журнал Русский ювелир. – 2010, №5.
6. *Snowman A.K.* The Master Jewelers. – London: Thames & Hudson, 2002.
7. *Теркель Е.* Мода и дизайн ткани от Леона Бакста. Пересекая Атлантику // Лев Бакст. Открытие материи: Каталог выставки. СПб.: ООО "ПЕТРОНИЙ", 2012.
8. *Пуаре П.* Одевая эпоху / Пер. с фр. Н. Ф. Кулиш; предисл. и фотографии А. А. Васильева. – М.: Этерна, 2011.
9. *Васильев А.А.* Красота в изгнании. Творчество русских эмигрантов первой волны: Искусство и мода / Изд. 8-е. – М.: СЛОВО/SLOVO, 2008.
10. URL:<http://bellezza-storia.livejournal.com/42175.html#cutid1> (дата обращения 09.11.21)
11. URL:<https://officiel-online.com/fashion-week/thombrowne-ss-2020> (дата обращения 01.11.21)
12. URL:[https://www.championat.com/lifestyle/article-3795327-novaja-sportivnaja-kollekcija-toma-braunamjachi-stali-sumkami.html?utm\\_source=copypaste](https://www.championat.com/lifestyle/article-3795327-novaja-sportivnaja-kollekcija-toma-braunamjachi-stali-sumkami.html?utm_source=copypaste) (дата обращения 15.11.21)

#### REFERENCES

1. Yastrebitskaya A.L. Western Europe of the XI-XIII centuries: Epoch. Life. Costume. – М.: "Art", 1978.
2. Lopato M.N. Historicism as an artistic phenomenon. Sb. Style and epoch in decorative art of the 1820-1890 s. – St. Petersburg: JSC "Slavia", 1996.

3. Vankovich S.M. Costume in the captivity of eclecticism: architectural and stylistic associations. – M.: AVATAR, 2015.

4. Ladies' fashions of the XIX century / Historical and artistic monograph on women's mores and tastes. With numerous drawings illustrating the evolution of the women's toilet from 1797 to 1898 / Edition of the editorial board of the "New Journal of Foreign Literature" / St. Petersburg, Printing House of A. S. Suvorin, 1899 / [3], 235 p.: ill.;

5. Gabriel G.N. Historicism in jewelry art. A look from the postmodern era. Russian Jeweler magazine. – 2010, No. 5.

6. Snowman A.K. The Master Jewelers. – London: Thames & Hudson, 2002.

7. Terkel E. Fashion and fabric design by Leon Bakst. Crossing the Atlantic // Lev Bakst. Discovery of Matter: Exhibition catalog. – St. Petersburg: LLC "PETRONIUS", 2012.

8. Poiret P. Dressing the epoch / Per. with fr. N. F. Kulish; preface and photographs by A. A. Vasiliev. – M.: Eterna, 2011.

9. Vasiliev A. A. Beauty in exile. Creativity of Russian emigrants of the first wave: Art and fashion / Ed. 8-E. – M.: SLOVO, 2008.

10. URL:<http://bellezza-storia.livejournal.com/42175.html#cutid1> (accessed 09.11.21)

11. URL:<https://official-online.com/fashion-week/thom-browne-ss-2020> (accessed 01.11.21)

12. URL:[https://www.championat.com/lifestyle/article-3795327-novaja-sportivnaja-kollekcija-toma-brauna-mjachi-stali-sumkami.html?utm\\_source=copy-paste](https://www.championat.com/lifestyle/article-3795327-novaja-sportivnaja-kollekcija-toma-brauna-mjachi-stali-sumkami.html?utm_source=copy-paste) (accessed 15.11.21)

Рекомендована кафедрой истории и теории искусства. Поступила 03.11.22.

УДК 745.03+671.1+ 673.15+ 666.293  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_208

## НАШИВНЫЕ УКРАШЕНИЯ С ЭМАЛЬЮ В ИСТОРИЧЕСКОМ КОСТЮМЕ И ИХ МЕСТО В СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНДАХ

### SEWN JEWELRY WITH ENAMEL IN A HISTORICAL COSTUME AND THEIR PLACE IN MODERN TRENDS

*И.В. РЫБАКОВА, С.И. ГАЛАНИН*

*I.V. RYBAKOVA, S.I. GALANIN*

(Костромской государственный университет)

(Kostroma State University)

E-mail: Irina.Rybakova.V@yandex.ru; sgalanin@mail.ru

*В статье рассмотрены особенности украшений как элемента костюма и образа на примере нашивных украшений с горячими эмалями. Дан исторический обзор этого типа аксессуара. Подчеркнуты технологические особенности и художественные приемы нашивных эмалевых украшений. Проанализированы социальные и знаковые символы украшений как элементов костюма. Даны сведения об изменении статуса костюмных украшений в исторической ретроспективе. Выявлены особенности дизайнерского подхода к костюму в XX веке. Приведены особенности глобальных ювелирных трендов XXI века. Сделано предположение по их реализации на стыке дизайнерского и ювелирного мастерства. В сводной таблице сопоставлены возможности использования костюмных украшений при современном дизайнерском подходе. Приведены возможности использования подобных украшений в современном авторском костюме с ориентацией на глобальные тренды.*

*The article discusses the features of jewelry as an element of the costume and image, using the example of sewn jewelry with hot enamels. A historical overview of this type of accessory is given. Technological features and artistic techniques of sewn enamel jewelry are emphasized. Social and iconic symbols of jewelry as cos-*

*tume elements are analyzed. Information is given about the change in the status of costume jewelry in historical retrospect. The features of the design approach to the costume in the XX century are revealed. The features of the global jewelry trends of the XXI century are given. An assumption is made on their implementation at the junction of design and jewelry craftsmanship. The summary table compares the possibilities of using costume jewelry in a modern design approach. The possibilities of using such jewelry in a modern author's costume with a focus on global trends are presented.*

**Ключевые слова:** история дизайна, ювелирный дизайн, горячая ювелирная эмаль, технология горячего эмалирования, история ювелирного искусства, аксессуары костюма, история костюма и аксессуаров.

**Keywords:** history of design, jewelry design, hot jewelry enamel, hot enameling technology, history of jewelry art, costume accessories, history of costume and accessories.

### *Введение*

Нашивные украшения очень - древний прием декорирования платья и костюма, берущий свое начало в античности. Во многие исторические периоды, когда в большей или меньшей степени бытовали украшения, нашивавшиеся на одежду, они обладали определенным значением, отличным от других, традиционных украшений. Они несли информацию для окружающих – статус, религиозные воззрения, социальное влияние, более значительную, чем личные украшения. В связи с тем, что нашивные лучше других украшений согласуются с костюмом в целом, подчеркнуты идеи образности, символизма и социального влияния на костюм рассмотренных периодов.

### *Нашивные костюмные украшения с эмалью*

Костюм состоит из ряда элементов: крой, ткань, цвет, украшения. При их гармоничном сочетании создается эстетически значимый образ, отражающий связи человека с окружающим миром. В украшениях костюма, более чем в других элементах, выражены тенденции моды, самооценка человека и его отношение к среде обитания. При этом сливаются тенденции к социальному нивелированию и индивидуальному различию в единой среде [5].

Костюмные украшения могут многое рассказать об их владельце. Их статус на протяжении многих столетий продолжал оставаться высоким, обладал как утилитар-

ной, так и знаковой принадлежностью, соответствуя и практическим, и символическим требованиям. Пол и возраст, переход из одной возрастной категории в другую, включение человека в систему родовых, этнических, сословных связей – все это на протяжении многовековой истории находило отражение в костюмных украшениях.

Цвет, украшения и материал характеризовали общность, группу людей, клан, род. Во-первых, как единый хозяйственный организм, располагающий одинаковым сырьем, красителями и способом производства. Во-вторых, как единый духовный организм, объединенный единомыслием и духовным укладом (обычай, этика, мораль). Эти признаки, практически определившие декоративный строй одежды и украшений, впоследствии закреплялись как национальные (орнамент, вышивка, аппликация, цвет и прочее) [7].



Рис. 1

Традиция орнаментации нашивными бляшками известна еще с периода античности [1]. Примером могут служить золотые

многослойные розетки для головного покрывала 330-300 гг. до н. э., где внешние листья плюща попеременно заполнены синей и зеленой эмалью (рис. 1). На оборотной стороне выполнены три золотые полосы для прикрепления к одежде. Это самые сложные образцы из всех аналогичных изделий, происходящих с территории Греции [3].

Все украшения, живые цветы или ювелирные изделия, предназначались не только для красоты, но должны были служить оберегами своих владельцев. Декоративные украшения – орнаменты, нашивки, несли не только эстетическую, но и сословную, иерархическую информацию.

При этом преимуществом использования эмали в нашивных элементах можно назвать возможность создания достаточно легких полихромных декоративных дета-

лей (табл. 1 (особенности нашивных элементов), п. 1).

Ювелирный убор восточных славян, так называемый "антский убор" VI-VII веков, включал в себя нашивные бляшки для украшения головного покрывала или головного убора (шапочки, калафа). В XVI и XVII столетиях русские парадные одежды, как женские, так и мужские, были длинными, широкими в подоле, с длинными рукавами, скрывавшими фигуру. Такая одежда не оставляла открытых, обнаженных частей тела, и ее характерной особенностью являются нашитые или пристегнутые украшения. Это нашивки, образцы, запоны, кружева, пуговицы, зачастую украшенные цветной эмалью, в сочетании с драгоценными тканями, создающие впечатление сказочного узорчья и богатства [8].

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Период	Особенности	Возможное применение	Информативная и социальная составляющая
1	Античность	Легкие полихромные элементы	На одежде из тонких тканей	Обереги, сословная иерархия
2	Древняя Русь	Использование на плотных тканях или с рисунком	На верхней одежде из плотных тканей, на вечерних костюмах, в аксессуарах: обуви, головных уборах, перчатках и др.	Закрытый образ жизни, древность рода, обережная функция
3	Средневековая Европа	Использование на плотных тканях или с рисунком. Применение сюжетов и орнаментов	На верхней одежде и в аксессуарах: обуви, головных уборах, перчатках и др.	Фамильная и родовая принадлежность, символизм, религиозные воззрения
4	Период Возрождения	Изысканность украшения, создание миниатюрных произведений искусства	Пояса и украшения корсажа платья, зоны декольте	Самостоятельные произведения искусства
5	XVIII, XIX века, Россия, Европа	Разнообразие сюжетов, орнаментов, материалов	На всех элементах платья, костюма	Подчеркнуть индивидуальность, новизну, уместность в рамках общественного вкуса
6	Первая треть XX, Европа	Создание гармоничного единого образа, отвечающего актуальным художественным направлениям и тенденциям	На всех элементах одежды и аксессуарах	Создание гармоничных образов, отвечающих актуальным тенденциям
7	Рубеж XX-XXI веков	Создание гармоничного единого образа, отвечающего тенденциям и раскрывающего индивидуальность	На всех элементах одежды и аксессуарах	Выражение не текущего социального статуса, а личных амбиций и стремлений



Весь образ, складывающийся из сочетания костюма и украшений, создавал эффект дородности, искусственно образованный многослойностью тяжелых тканей. Складывался определенный тип, так называемый "постнический", скрытый от чужого взора, укрытый одеждой так, что видны были только лицо и кончики пальцев. Неизменный многие годы крой одежды позволял носить вещи и нашивные украшения несколькими поколениями семьи, так что костюм подчеркивал еще и древность рода носителя (табл. 1, п. 2).

Одним из главных украшений одежды служили пуговицы, в наше время обыденная деталь костюма. В XVI-XVII веках пуговица была наделена нешуточной силой, ею "застегивали" душу человека в одежде и отпугивали, прогоняли нечистую силу. Пуговицы на царских кафтанах были истинными произведениями искусства. Одна такая пуговица могла стать щедрой наградой царя своему подданному. При этом драгоценные пуговицы бытовали не только в дворянском костюме, но и среди посадских людей и крестьянства.

Пуговицы XVII века значительно превосходят по величине современные и имеют разные форму и вес. И, конечно, помимо драгоценных камней, в их украшении щедро использовали многоцветную эмаль. Расшитая ткань платья, украшенная драгоценными эмалевыми пуговицами, подобный наряд демонстрировал статус владельца, вызывал уважение и восхищение окружающих [2].



Рис. 2

Особенно интересно так называемое кружево, пришитавшееся на ворот, обшлага рукавов, подол (рис. 2 – кружево, золото, эмаль, цветные камни, XVII век). Это были сверкающие полосы, составленные из небольших прямоугольных ажурных золотых или серебряных пластинок-запон с эмалью и драгоценными камнями [8].

В средневековой Европе украшения в большинстве своем носились нашивные. Религиозные предписания того времени, а также климатические условия (среднегодовая температура была на два градуса меньше, чем сейчас) практически не допускали открытых участков тела.

Многослойные одежды из плотной шерстяной ткани, либо из ценных парчи и бархата предполагали достаточно заметные украшения, крупные и разноцветные, чтобы выделяться на фоне богатых тканей.

Головные уборы, перчатки, обувь, плащи, ремни и пояса, все это было украшено эмалевыми сюжетными плакетками (рис. 3 – нашивная эмалевая плакетка со сценой Благовещения, XIII век). При этом господствующими были религиозные сюжеты и куртуазная любовь, но если вторая относилась к украшениям личного характера – кольца, подвески под одеждой, первая к самым показательным, внешним – нашивным украшениям [6].



Рис. 3

Костюм в целом представлял собой своего рода "оправу" социального положения человека. При этом одежда состояла из ограниченного количества вещей и мало различалась по половому признаку (ту-



ники, накидки, плащи). Основную репрезентативную функцию несли нашивки, геральдические эмблемы, украшения, это было проявлением тенденции индивидуализации и символического значения [7].

Особенностями эмалевых нашивных украшений периода Средневековья можно назвать: полихромную эмалевых элементов, соперничающую с богатыми тканями; использование декоративных украшений на верхней одежде, головных уборах, обуви, перчатках; создание в эмалях декоративных элементов любых сюжетов, орнаментов (табл.1, п. 3).

Костюм и общий ювелирный стиль периода Возрождения можно определить как парадный, чувственный, карнавальный, полный различных аллегорий и символов. Количество носимых драгоценностей постоянно росло. Вся одежда была буквально усыпана драгоценностями. Пуговицы стали маленькими произведениями ювелирного искусства и были столь популярны, что их преподносили в качестве подарка. Особенность украшений этого периода в том, что художественная работа ценилась намного выше драгоценного материала [6]. В создании ювелирных украшений мастера этого периода сотрудничали с художниками (Альбрехт Дюрер, Ганс Милих), и драгоценные произведения искусства нередко сразу оказывались в частных коллекциях [10] (табл. 1, п. 4).

Эмалевые пуговицы продолжали бытовать в России и в Европе в XVIII и XIX веках. Они часто дарились как близким, так и официальным лицам. Поэтому к эмалевым пуговицам все еще сохраняется отношение как к драгоценным ювелирным изделиям, некой статусной вещи [4].

При этом костюм в целом ставил задачу привлечь на себя внимание и одновременно быть уместным. Развивающаяся промышленность поставила во главе только одну новизну, и решением ее стало разнообразие костюмов и поводов – утреннее платье, платье для визитов, вечерние туалеты и прочее. Никогда еще мода не была такой изощренной в части отделки, как мода XIX века. Использовались тесьма, бахрома, галуны, пуговицы, бисер, металлические

украшения, искусственные цветы, ленты, кружева, шали, платки и прочее. Главной задачей было привлечь на себя внимание, подчеркнуть индивидуальность, при этом оставаться в рамках общественного вкуса (табл., п. 5).

В начале XX века нашивные украшения на некоторое время исчезают из бытования, оставляя место только классическим ювелирным изделиям. Но все меняется в 20...30 годы XX века в связи с началом доминирования стиля ар-деко и приходом в ювелирное дело профессиональных художников. С этого момента художественные украшения подчиняются не просто модным ювелирным орнаментам, а современным мировым художественным течениям того периода – футуризму, фовизму и пр. Традиционные ювелирные украшения, безусловно, впитывали эти изменения, но одними из самых ярких представителей этого периода стали костюмные украшения, созданные для определенного платья или костюма.

Эти украшения были более модными и идеально гармонировали с актуальной одеждой в отличие от традиционных драгоценностей, которые зачастую идут в арьергарде моды. Они часто создавались из недорогих материалов, украшались эмалью и стразами, были нашивными, так как предполагалось их ношение именно с задуманным дизайнером платьем или костюмом. К примеру, образы, созданные Эльзой Скиапарелли (рис. 4 – детали костюмов авторства Эльзы Скиапарелли), не предполагалось рассматривать отдельно от украшений и наоборот [7].



Рис. 4

Особенностью нашивных элементов этого периода можно назвать гармоничное

сочетание костюма и аксессуаров, создание единого образа, как его изначально видел дизайнер (табл. 1, п. 6).

Одними из макротрендов сегодняшнего дня являются такие направления ювелирного дизайна, как ирония, искусство, фантазийные миры, виртуальная реальность, космос [9]. Несмотря на то, что об этих направлениях в ювелирных трендах говорят уже несколько лет, традиционные ювелирные украшения, согласующиеся непосредственно с телом человека, пока мало отражают эти темы, чего не скажешь о дизайнерах одежды. Это достаточно сложные направления в трендах, они требуют гармоничного создания всего образа, сочетающегося с одеждой. Поэтому вышеозначенные ювелирные тренды актуально рассматривать именно в сочетании с костюмом и платьем.

Кроме того, это отвечает глобальному социальному тренду, который прогнозируется на ближайшие несколько десятилетий – обладание информацией. В прикладном плане это может звучать как знание тонкостей в искусстве, метафорическое послание окружающим, выраженное в созданном гармоничном образе костюма и украшений. А также общая социальная направленность – транслировать миру не сегодняшнее состояние и статус индивида, но его стремления и личные амбиции (табл., п. 7).

## ВЫВОДЫ

В рассмотренных исторических примерах и прогнозах ювелирных трендов можно выделить некоторые схожие моменты.

Нашивные украшения в исторических примерах их использования подчеркивали статус владельца, усиливали его сообщение о себе окружающим. Это соответствует современному глобальному тренду – украшение как послание миру о себе. Но при этом рассмотрены изменения этих сообщений от функции оберега, сословного статуса и религиозных воззрений до трансляции изысканного вкуса и стремлений в личном развитии, что подразумевает вариативное использование этой функции и в дальнейшем.

Нашивные украшения гармонично сочетаются с костюмом и аксессуарами, являясь

неотъемлемой частью задуманного образа. Необходимо отметить, что технологические возможности современного горячего эмалирования позволяют создавать различные варианты комплементарных украшений, дополняющих и расставляющих необходимые акценты в создаваемом образе. Такие украшения с успехом соответствуют и коллекциям высокой моды, и моделям прет-а-порте, что позволяет рассматривать их в качестве весьма перспективных элементов современного костюма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Рябцева С.С.* Древнерусский ювелирный узор. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского института истории РАН "Нестор-История", 2005.
2. *Гаврилова И.Е.* Искусство эмали. Федеральное гос. бюджетное учреждение культуры "Гос. ист.-культур. музей-заповедник "Московский Кремль"". – М., 2015.
3. *Уильямс Д., Огден Д.* Греческое золото. Ювелирное искусство классической эпохи. V–IV века до н.э. – СПб : Славия. 1995.
4. *Гилодо А.А.* Русская эмаль середина XIX начала XX века. – М.: Береста, 1996.
5. *Береговая О.В.* Функции и типология костюмных украшений: история и современность // Известия Уральского государственного университета. Сер. 2, Гуманитарные науки. – 2008. №55, вып. 15. с. 119–128.
6. *Захаржевская Р.В.* История костюма. – М.: Рипол классик, 2005.
7. *Плеханова Е.О.* История костюма, текстильного и ювелирного искусства. – Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2011.
8. *Крюк Г.М., Платонова Н.Г., Постникова-Лосева М.М. и др.* Русские ювелирные украшения XVI–XX века: из собрания Государственного Исторического музея. – М. : АСТ-ПРЕСС Галарт, 2002.
9. The jewellery trendbook 2023+, Trendvision Jewellery Forecasting, №20, Italian Exhibition Group S.p.A .Rimini.– 2021.
10. *Yvonne Hackenbroch.* Jewels of the Renaissance. – Assouline Publishing, 2015.

## REFERENCES

1. Ryabceva S.S. Ancient Russian jewelry. Saint Petersburg. – Publishing House of the St. Petersburg Institute of History of the Russian Academy of Sciences «Nestor-History», 2005.
2. Gavrilova I. E. The art of enamel. Federal State Budgetary Cultural Institution «State Historical and Cultural Museum-Reserve «Moscow Kremlin»». – М., 2015.

3. Williams D., Ogden D. Greek Gold. Jewelry art of the classical era of the V-IV century BC. – Saint Petersburg : Slavia. 1995.

4. Gilodo A. A. Russian enamel of the mid-XIX - early XX century. – Moscow.: Beresta, 1996.

5. Beregovaya O. V. Functions and typology of costume jewelry: history and modernity // Proceedings of the Ural State University. Humanities Section 2. – 2008. № 55, vyp. 15. P. 119...128.

6. Zaxarzhetskaya R. V. Costume History. – Moscow: Ripolklassik, 2005.

7. Plexanova E. O. History of costume, textile and jewelry art: study guide. Izhevsk: Publishing House «Udmurtskijuniversitet», 2011

8. Kryuk G. M., Platonova N. G., Postnikova-Lo-seva M. M. [and others]. Russian jewelry of the XVI-XX century: from the collection of the State Historical Museum. – Moscow: AST-PRESS Galart, 2002.

9. The jewellery trendbook 2023+, Trendvision Jewellery Forecasting, №20, Italian Exhibition Group S.p.A. Rimini. – 2021.

10. Yvonne Hackenbroch. Jewels of the Renaissance. – Assouline Publishing, 2015.

Рекомендована кафедрой . Поступила .

---

УДК 677.027.62:539.217.2

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_215

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПИТКИ  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ\***

**MODELING OF IMPREGNATION  
DURING THE FORMATION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

*А.Н. БИЗЮК, Н.Н. ЯСИНСКАЯ*

*A.N. BIZIUK, N.N. YASINSKAYA*

**(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)**

**(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)**

E-mail: biziuk.andrei@gmail.com; yasinskaynn@rambler.ru

*Одним из способов формирования полимерных композиционных материалов является пропитка армирующей основы полимерным связующим. От эффективности пропитки зависят свойства готового композита. Для определения оптимальных режимов пропитки требуется провести компьютерное моделирование процесса. В данной работе описывается подход к моделированию процесса пропитки тканой армирующей основы композиционного материала с использованием методов молекулярной динамики. Метод молекулярной динамики позволяет смоделировать движение отдельных частиц вещества и их взаимодействие между собой и окружающей средой. За этим процессом можно наблюдать шаг за шагом, пока не будет достигнут желаемый результат. Метод молекулярной динамики используется для моделирования процесса течения жидкости в предварительно построенной модели текстильной основы. Модель текстильной основы получена в результате имитационного моделирования взаимодействия волокон между собой. Методы имитационного моделирования позволяют получить модели процессов и объектов в тех случаях, когда аналитическое моделирование слишком сложно или невозможно. Авторами разработано кроссплатформенное программное обеспечение, осуществляющее моделирование формирования текстильной основы и ее пропитки полимерным связующим.*

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ИСТАИ-2022)», которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

*One of the ways to form polymer composite materials is to impregnate the reinforcing base with a polymer binder. The properties of the finished composite depend on the effectiveness of impregnation. To determine the optimal impregnation modes, a computer simulation of the process is required. This paper describes an approach to modeling of impregnation process of a composite material woven reinforcing base using molecular dynamics methods. The method of molecular dynamics allows you to simulate the movement of individual particles of matter and their interaction with each other and the environment. This process can be observed step by step until the desired result is achieved. The molecular dynamics method is used to simulate the fluid flow process in a pre-constructed textile base model. The model of the textile base is obtained as a result of simulation modeling of the interaction of fibers with each other. Simulation modeling methods make it possible to obtain models of processes and objects in cases where analytical modeling is too difficult or impossible. The authors have developed a cross-platform software that simulates the formation of a textile base and its impregnation with a polymer binder.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, армирующие структуры, пропитка, компьютерное моделирование, метод молекулярной динамики.

**Keywords:** composite materials, reinforcing structures, impregnation, computer modeling, molecular dynamics method.

#### *Введение*

Задача моделирования пропитки армирующих текстильных основ композиционных материалов является актуальной, так как от качества пропитки зависят свойства готового материала. Существуют различные методы моделирования текстильных материалов [1], [2]. Наиболее часто используются методы конечных элементов. Однако текстильные материалы имеют очень сложную структуру и при использовании метода конечных элементов их внутреннюю структуру упрощают. В результате теряется информация об отдельных волокнах или даже нитях и результаты моделирования отражают усредненную картину. Авторами разработаны методы моделирования структуры текстильных материалов, учитывающие положение отдельных волокон, что позволяет использовать эти модели при исследовании процессов пропитки [3...5]. Моделирование пропитки текстильных материалов можно осуществить, используя методы молекулярной динамики [6...10].

#### *Методы*

Для определения оптимальных параметров процесса формирования компози-

ционного материала, с целью достижения желаемых физико-механических свойств, требуется провести моделирование адгезии между полимерным связующим и текстильной основой [11]. В качестве моделируемых физических законов выбраны силы Ван-дер-Ваальса и силы обменного взаимодействия между молекулами [6...9].

Силы Ван-дер-Ваальса представляют собой силы притяжения и отталкивания между атомами, молекулами и поверхностями и другие силы межмолекулярного взаимодействия. Силы межмолекулярного взаимодействия состоят из четырех основных компонентов.

1. Силы отталкивания, обусловленные принципом Паули, которые предотвращают столкновение молекул.

2. Электростатические силы притяжения или отталкивания между постоянными зарядами, диполями, мультиполями.

3. Индукция (поляризация) – сила притяжения между постоянной мультиполью в одной молекуле и поляризованной мультиполью в другой молекуле.

4. Дипольное взаимодействие. Сила притяжения между любой парой молекул,

включая неполярные атомы, возникающая из-за взаимодействий мультиполей.

Силы Ван-дер-Ваальса являются анизотропными, то есть они зависят от взаимного расположения молекул. Индукционные и дисперсионные взаимодействия всегда направлены на сближение молекул, независимо от ориентации, но электростатическое взаимодействие меняет направление в зависимости от вращения молекул. Когда молекулы находятся в температурном движении, как это происходит в газах и жидкостях, электростатические силы в значительной степени усредняются.

Для моделирования изотропной части общей (притягивающей и отталкивающей) силы Ван-дер-Ваальса как функции от расстояния часто используется модель потенциала Леннард-Джонса, которая достаточно реалистично передает свойства взаимодействия между частицами [10]. Потенциал Леннард-Джонса описывается следующей формулой:

$$U(r) = 4\epsilon \left( \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right), \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние между центрами частиц;  $\epsilon$  – глубина потенциальной ямы;  $\sigma$  – расстояние, на котором достигается равновесие сил притяжения и отталкивания. Параметры  $\epsilon$  и  $\sigma$  являются характеристиками частиц взаимодействующих веществ и определяются экспериментально.

Свойства жидкостей и газов обусловлены взаимодействием молекул. Имитационное моделирование взаимодействия отдельных молекул возможно, но при необходимости изучения процессов пропитки текстильных материалов потребуется моделировать относительно большие объемы жидкости с огромным количеством молекул. Такая задача потребует слишком больших объемов оперативной памяти для хранения информации о молекулах, и вычислительная сложность этой задачи будет слишком высока. Решить эту проблему можно моделируя не отдельные молекулы, а частички жидкости большего размера. При этом их размер будет определять минимальный раз-

мер пор волокнистого материала, процесс пропитки которого мы будем изучать.

При моделировании поведения жидкости нужно учитывать:

- силы взаимодействия частичек между собой (притягивание, отталкивание);
- атмосферное давление, действующее на поверхность жидкости;
- взаимодействие частичек с волокнистым материалом;
- силу тяжести.

Как было указано ранее, взаимодействие молекул в жидкостях и газах достаточно хорошо описывается потенциалом Леннард-Джонса (1).

Эта формула позволяет определить силу, которая действует на частицу со стороны другой частицы, находящейся на расстоянии  $r$ . При больших значениях  $r$ , когда  $r > \sigma$ , частицы притягиваются, а при малых – отталкиваются.

Для имитационного моделирования взаимодействия частиц нужно задать ряд параметров:

- размеры частиц (радиусы  $R$ );
- начальное положение частиц;
- плотность вещества частиц  $\rho$ ;
- шаг времени моделирования  $dt$ ;
- параметры  $\epsilon$  и  $\sigma$  потенциала Леннард-Джонса.

Каждая частица характеризуется набором свойств:

- номер частицы  $i$ ;
- координаты в пространстве  $x, y, z$ ;
- проекции вектора скорости  $v_x, v_y, v_z$ .

Моделирование состоит в последовательном пересчете положения частиц в пространстве через равные интервалы времени  $dt$ . При расчете нового положения частицы в пространстве определяется воздействие каждой другой частицы на данную. Пусть мы рассчитываем новое положение частицы  $i$ .

1. Для каждой частицы  $j$ , при  $i \neq j$ , вычисляем  $r$ .

2. Вычисляем силу  $U(r)$  взаимодействия частиц по формуле потенциала Леннард-Джонса.

3. Вычисляем ускорение, сообщаемое этой силой частице за время  $dt$  по формуле  $a = U/m \cdot dt$ , где  $m$  – масса частицы.

4. Определяем вектор направления воздействия силы,  $V(x_j - x_i, y_j - y_i, z_j - z_i)$ . Нормализуем этот вектор,  $V = V/||V||$ .

5. Вычисляем изменение скорости частицы  $i$  за время  $dt$ .  $v_x = v_x - a \cdot xV$ ,  $v_y = v_y - a \cdot yV$ ,  $v_z = v_z - a \cdot zV$ .

6. После того как рассмотрены все частицы  $j$ , вычисляем новое положение частицы  $i$  в пространстве.  $x = v_x \cdot dt$ ,  $y = v_y \cdot dt$ ,  $z = v_z \cdot dt$ ,

Чем меньше значение  $dt$ , тем выше точность расчета, но тем больше объем вычислений, необходимый для моделирования заданного отрезка времени, так как требуется большее число шагов алгоритма

Атмосферное давление воздействует на те частички жидкости, которые непосредственно контактируют с воздухом. Результирующая сила воздействия атмосферного давления на частичку и направление этой силы зависят от того, какая часть поверхности частицы контактирует с атмосферой. Точный расчет площади контакта и направления воздействия для каждой частицы потребовал бы значительных ресурсов. Для практических целей моделирования рассматривались 12 возможных направлений воздействия силы атмосферного давления на частицу. Сила, действующая на частицу с каждого направления, выбиралась равной  $1/12$  от общей силы воздействия атмосферного давления на площадь поверхности частицы. Площадь поверхности частицы  $S$  зависит от ее радиуса  $R$  и равна  $S = 4\pi R^2$ . Атмосферное давление  $P$  выбрано равным  $P = 100000$  Па =  $100000$  Н/м<sup>2</sup>. Сила  $F$ , действующая на частицу с каждого из 12 направлений, равна  $F = P \cdot S/12$ ;

Направления воздействия атмосферного давления на частицу должны быть равномерно распределены по сферической поверхности частицы. Для достижения равномерного распределения воздействия был произведен расчет единичных векторов воздействия. Точки, равномерно распределенные по сфере, являются вершинами правильного многогранника. Правильным

многогранником с 12 вершинами является икосаэдр.

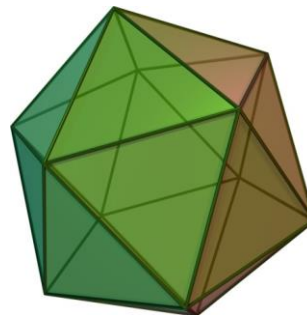


Рис. 1

Координаты вершин икосаэдра (рис. 1) с центром в точке 0 и длиной ребра 2 можно найти как циклические перестановки точки  $(0, \pm 1, \pm g)$ , где  $g = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$  – соотношение золотого сечения. Векторы, направленные из центра икосаэдра к его вершинам, будут иметь одинаковые с вершинами координаты. Для использования в качестве направлений воздействия атмосферного давления векторы нужно нормализовать, то есть изменить их длину до значения 1, сохранив направление. Нормализацию вектора можно осуществить, разделив каждую его координату на длину вектора. В результате расчетов получены следующие векторы (табл. 1):

Таблица 1

№	Вектор
1	(0, 0.525731, 0.850651)
2	(0, 0.525731, -0.850651)
3	(0, -0.525731, 0.850651)
4	(0, -0.525731, -0.850651)
5	(0.850651, 0, 0.525731)
6	(-0.850651, 0, 0.525731)
7	(0.850651, 0, -0.525731)
8	(-0.850651, 0, -0.525731)
9	(0.525731, 0.850651, 0)
10	(-0.525731, 0.850651, 0)
11	(0.525731, -0.850651, 0)
12	(-0.525731, -0.850651, 0)

Для определения, с каких направлений на частицу воздействует атмосферное давление, а с каких – нет, определяется направление к ближайшим частицам жидкости и расстояние до них. Если рядом с рассматриваемой частицей на расстоянии ближе, чем



минимальное пороговое расстояние, на котором частицы начинают притягиваться, находится другая частица, то некоторые направления воздействия атмосферного давления на рассматриваемую частицу будут заблокированы. Какие именно направления будут заблокированы, определяется в результате расчета косинусов углов между нормализованными векторами воздействия атмосферного давления и нормализованным вектором направления от рассматриваемой частицы к другой частице. Косинус угла между этими векторами можно получить, найдя их скалярное произведение. Если косинус угла превышает некоторое пороговое значение, то угол между векторами меньше некоторого порогового угла и это направление воздействия атмосферного давления будем считать заблокированным. Для моделирования был выбран угол 50 градусов.

Алгоритм расчета воздействия атмосферного давления на частицу жидкости с номером  $i$ :

1. Для каждой частицы  $j$ , при  $i \neq j$ , определяем расстояние  $r$  между частицами  $i$  и  $j$  и вектор направления  $v_{ij}$  от  $i$  к  $j$ .

2. Нормализуем вектор  $v_{ij}$ .

3. Определяем косинус угла между нормализованным вектором  $v_{ij}$  и каждым из векторов направлений воздействия атмосферного давления как их скалярное произведение.

4. Если для какого-либо вектора направления воздействия атмосферного давления косинус угла оказывается большим, чем  $\cos(50^\circ) = \cos(\pi/3.6)$ , то это направление считаем заблокированным.

5. Если после рассмотрения всех частиц  $j$  остались незаблокированные направления воздействия атмосферного давления, то вычисляем для них воздействие на скорость частицы  $i$  за время  $dt$ .  $v_x = v_x - F/m \cdot dt \cdot xVa$ ,  $v_y = v_y - F/m \cdot dt \cdot yVa$ ,  $v_z = v_z - F/m \cdot dt \cdot zVa$ , где  $xVa$ ,  $yVa$ ,  $zVa$  – компоненты незаблокированного вектора воздействия атмосферного давления.

Взаимодействие частичек жидкости с частичками твердого вещества достаточно точно описывается потенциалом Леннарда-Джонса в форме 9-3:

$$U(r) = \frac{3\sqrt{3}}{2} \varepsilon \left( \left( \frac{\sigma}{r} \right)^9 - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^3 \right). \quad (2)$$

Процедура расчета взаимодействия частичек жидкости с волокнистым материалом аналогична описанной ранее, за исключением того, что используется потенциал Леннарда-Джонса в форме 9-3 и рассматривается воздействие частичек волокнистого материала (находящихся вблизи) на частичку жидкости.

При пропитке волокнистого материала жидкостью сила тяжести, действующая на жидкость, может оказать заметное влияние на этот процесс. Модель должна учитывать эффект, оказываемый силой тяжести.

Для моделирования воздействия силы тяжести на жидкость рассчитывается изменение скорости каждой отдельной частички под действием силы тяжести за время  $dt$ .

$$\begin{aligned} v_x &= v_x + g V_{xg} dt, \\ v_y &= v_y + g V_{yg} dt, \\ v_z &= v_z - g V_{zg} dt, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $v(v_x, v_y, v_z)$  – вектор скорости частицы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $Vg(V_{xg}, V_{yg}, V_{zg})$  – вектор направления силы тяжести.

#### Результаты и обсуждения

Метод, описанный в статье, реализован авторами в программном продукте, позволяющем сформировать модель текстильного материала по заданным параметрам (линейная плотность, тип волокон, текстильное переплетение и др.) и смоделировать процесс пропитки этого материала жидкостью. На рис. 2 представлен интерфейс программы с загруженной трехмерной моделью участка ткани, а также проникновение частичек жидкости между волокнами материала.

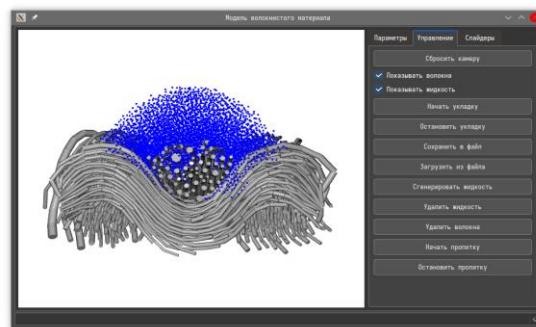


Рис. 2

Разработанный метод может быть применен при решении задач проектирования композиционных текстильных материалов. Разработанное программное обеспечение подтверждает работоспособность метода моделирования.

## ВЫВОДЫ

Проведено компьютерное моделирование процесса пропитки армирующей ткани полимерным связующим для прогнозирования оптимальных режимов технологического процесса формирования композиционных материалов. Использован метод молекулярной динамики, позволяющий смоделировать движение отдельных частиц вещества и их взаимодействие между собой и окружающей средой. Разработано кроссплатформенное программное обеспечение, осуществляющее моделирование формирования тканого армирующего материала и его пропитки полимерным связующим.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Chen X.* Modelling and predicting textile behaviour. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2010.
2. *Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е.* Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств. – М.: "Тисо Принт", 2014.
3. *Ясинская Н.Н., Бизюк А.Н., Разумеев К.Э.* Моделирование структуры текстильных материалов для формирования слоистых композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №6. С. 273...277.
4. *Bizyuk A. N., Yasinskaya N. N.* Development of a Method for the Experimental Study of the Capillary-Porous Structure of Yarn Filaments // Fibre Chemistry. – 2021. V. 52. P. 435...438.
5. *Biziuk A., Yasinskaya N.* A new approach to modeling reinforcing textile structures for composite materials // AIP Conference Proceedings. – 2022. V. 2430.
6. *Каплан И.Г., Безруков Д.С., Рябинкин И.Г.* Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы / Под ред. Степанова Н.Ф. – 3-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2017.
7. *Rapaport D. K.* Искусство молекулярной динамики. – Ижевск: ИКИ, 2012.

8. *Frenkel D., Smit B.* Understanding Molecular Simulation. – 2001.
9. *Griebel M., Knapek S., Zumbusch G.* Numerical Simulation in Molecular Dynamics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.
10. *Allen M.P., Tildesley D.J.* Computer Simulation of Liquids. – Oxford University Press, 1990.
11. *Королев П.В., Матрохин А.Ю., Шилов М.А., Королева С.В.* Моделирование адгезионного контакта в однонаправленных композитах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №6. С. 44...50.

## REFERENCES

1. *Chen X.* Modelling and predicting textile behaviour. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2010.
  2. *Sevostyanov P. A., Zabrodin D. A., Dasyuk P. E.* Computer modeling in the problems of research of textile materials and industries. – Moscow: Tiso Print, 2014.
  3. *Yasinskaya N. N., Bizyuk A. N., Razumaev K. E.* Modeling of textile materials structure for forming layered composites // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 6. P. 273...277.
  4. *Bizyuk A. N., Yasinskaya N. N.* Development of a Method for the Experimental Study of the Capillary-Porous Structure of Yarn Filaments // Fibre Chemistry. – 2021. V. 52. P. 435...438.
  5. *Biziuk A., Yasinskaya N.* A new approach to modeling reinforcing textile structures for composite materials // AIP Conference Proceedings. – 2022. V.2430.
  6. *Kaplan I. G., Bezrukov D.S., Ryabinkin I.G.; Ed. Stepanov N.F.* Intermolecular interactions. Physical interpretation, computer calculations and model potentials / 3rd ed. – Moscow: Laboratory of Knowledge, 2017.
  7. *Rapaport D. K.* The art of molecular dynamics. – Izhevsk: IKI, 2012.
  8. *Frenkel D., Smit B.* Understanding Molecular Simulation, 2001.
  9. *Griebel M., Knapek S., Zumbusch G.* Numerical Simulation in Molecular Dynamics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.
  10. *Allen M.P., Tildesley D.J.* Computer Simulation of Liquids. – Oxford University Press, 1990.
  11. *Korolev P.V., Matrokhin A.YU., Shilov S.V., Koroleva S.V.* Modeling of adhesive cutting in one-directional composites // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 6. P. 44...50.
- Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)". Поступила 31.10.22.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ  
ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ ВОЛОКНИСТОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА  
МЕТОДАМИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ\***

**MODELING THE CURING KINETICS  
OF AN EPOXY MATRIX OF A FIBROUS COMPOSITE MATERIAL  
BY MULTICRITERIA OPTIMIZATION METHODS**

*И.В. ОБВЕРТКИН, К.А. ПАСЕЧНИК, С.Ю. ВОРОНИНА*

*I.V. OBVERTKIN, K.A. PASECHNIK, S.YU. VORONINA*

(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева)

(Reshetnev Siberian State University of Science and Technology)

E-mail: 79632609742@yandex.ru

*Кинетика отверждения эпоксидной матрицы волокнистого композиционного материала изучалась методами динамической и изотермической дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Данные динамических анализов процесса отверждения смолы использовались для определения полной теплоты, выделяющейся при отверждении. Для моделирования кинетики реакции использовались автокаталитические модели. Параметры модели для изотермических экспериментальных данных определялись подбором с помощью метода наименьших квадратов. Для моделирования кинетики отверждения при сложнопрофильных температурных режимах экспериментальные изотермические данные для различных температур были обработаны с помощью генетического алгоритма сортировки без доминирования NSGA-II, входящего в группу методов многоцелевой оптимизации для определения параметров модели. Описанный алгоритм и процедура реализованы в python. Для валидации моделей кинетики был смоделирован полный цикл отверждения эпоксидной смолы. Он включает в себя как участки с изотермической выдержкой при температурах 80 и 120 °С, так и участки с равномерным нагревом со скоростью 2°С/мин. Использование моделей с параметрами, определенными методами многокритериальной оптимизации, позволяет описать весь цикл отверждения одним набором кинетических параметров и снизить ошибку прогнозирования процесса отверждения при изготовлении композиционных материалов.*

*Curing kinetics of epoxy resin was studied by dynamic and isothermal differential scanning calorimetry (DSC). The total heat of epoxy resin cure is assumed to be heat released during dynamic scans. Autocatalytic have been applied to the experimental data in order to model the reaction kinetics. The model parameters for isothermal experimental data were determined by selection using the method of least squares. For modelling the cure kinetics under complex temperature regime, expe-*

\* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России коллективом научной лаборатории «Интеллектуальные материалы и структуры» проекта «Разработка многофункциональных интеллектуальных материалов и структур на основе модифицированных полимерных композиционных материалов, способных функционировать в экстремальных условиях» (Номер темы FEFE-2020-0015). Исследование было частично выполнено с использованием оборудования Красноярска, Региональный центр исследовательского оборудования Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН».

*perimental isothermal data for various temperatures were processed using a genetic sorting algorithm without dominance (NSGA-II), which is part of a group of multi-objective optimization methods for determining model parameters. The described algorithm is realized in Python. For validation the kinetics models, a complete curing cycle of epoxy resin was modeled. It includes both areas with isothermal temperatures of 80 and 120 °C, and areas with uniform heating at a speed of 2 °C/min. The using of models with parameters determined by multi-objective optimization methods makes it possible to describe the entire curing cycle with one set of kinetic parameters and reduce the prediction error of the curing process.*

**Ключевые слова:** кинетика отверждения, многокритериальная оптимизация, диффузия, ДСК.

**Keywords:** cure kinetics, multi-objective optimization, diffusion, DSC.

Понимание кинетики отверждения эпоксидных связующих имеет критическую роль для определения напряженно-деформированного состояния волокнистого композитного материала в процессе изготовления ввиду зависимости механических свойств полимерной матрицы от степени ее конверсии [1..3]. Смоделировать процесс отверждения возможно с помощью данных о тепловом потоке в зависимости от времени и температуры, полученных с помощью ДСК.

Среди моделей кинетики, наиболее распространенной является автокаталитическая модель Камала-Сурура [1]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2 a^m)(1 - a)^n, \quad (1)$$

где  $\frac{d\alpha}{dt}$  – скорость отверждения;  $k_1$  и  $k_2$  – константы скорости реакции;  $a$  – степень конверсии;  $m$  и  $n$  – кинетические параметры.

В настоящем подходе реакция отверждения является химически управляемой, не учитывая влияния диффузионных ограничений, за счет которых значительно снижается скорость реакции при высоких степенях конверсии [7].

В настоящей работе, наряду с моделью Камала-Сурура, использовался подход [4], в уравнения кинетики которого вводится максимально достижимая степень конверсии  $a_c$  при текущей температуре как поправочный коэффициент на поздних стадиях реакции:

$$f(a) = \frac{1}{1 + \exp(C(a - a_c))}, \quad (2)$$

где  $C$  – константа, зависящая от структуры, системы и текущей температуры.

Однако предположение, что температура стеклования изменяется линейно с изменением степени конверсии, неверно в широком диапазоне. Поэтому к выражению (2) стоит относиться как к эмпирическому.

В работе [4] приведено выражение, которое учитывает влияние молекулярной диффузии на величину скорости отверждения:

$$\frac{da}{dt} = \frac{Ka^m(1-a)^n}{1 + \exp(C(a - a_c))}. \quad (3)$$

Выражение описывает кинетику реакции отверждения эпоксидной смолы и при высоких степенях конверсии.

Целью работы является разработка метода моделирования кинетики отверждения эпоксидной матрицы волокнистого полимерного композиционного материала. Представленный метод позволяет определить наиболее подходящие модели и осуществить подбор таких параметров, которые обеспечивали бы высокую точность моделирования кинетики отверждения при режимах отверждения, реализуемых при производстве изделий на основе эпоксидных смол. Подбор параметров реализуется путем одновременной подгонки выбранной модели ко всем ДСК кривым. Приведено сравнение модели с параметрами, полученными многокритериальной оптимизацией с моделями с учетом и без учета диффузии, параметры которых были определены методом наименьших квадратов на основе данных,

полученных при изотермическом режиме отверждения.

Предложенная методика включает в себя следующие стадии.

1. Динамическое сканирование образцов эпоксидной смолы при различных скоростях нагрева: 2, 5, 10 и 20 °С/мин.

2. Определение общей теплоты реакции.

3. Проведение исследований процесса отверждения эпоксидной смолы в условиях изотермической выдержки при различных температурах: 80, 100, 120 °С.

4. Выбор моделей кинетики отверждения эпоксидной системы, подбор параметров методом наименьших квадратов.

5. Многокритериальная оптимизация на основе ДСК кривых, полученных при изотермических исследованиях.

6. Валидация моделей путем сравнения с экспериментальными данными, полученными при отверждении со сложным температурным профилем, включающим динамические участки нагрева и изотермические выдержки при различных температурах.

Понимание кинетики отверждения эпоксидных смол позволяет решать технологические вопросы, связанные с выбором оптимальных циклов отверждения полимерных матриц. Это особенно важно в разрезе управления размеро- и формостабильностью конечного изделия ввиду влияния изменения механических свойств полимерной матрицы в зависимости от степени конверсии на величину внутренних термических напряжений [5], [6].

В качестве полимерной матрицы в настоящей работе использовалась эпоксидная смола марки Т67 (ЗАО "ИНУМИТ", Россия). Она является двухкомпонентной системой, включающей в себя смеси эпоксидных смол на основе бисфенола А и эпихлоргидрина, в качестве отвердителя здесь выступают ароматические и алифатические диамины.

Для исследования кинетики отверждения эпоксидной смолы в изотермических и неизотермических режимах в работе был использован дифференциально-сканирующий калориметр DSC25 (TA Instruments, США). При исследованиях неизотермических режимов отверждения образцов мы использо-

вали скорости нагрева 2, 5, 10, 20°С/мин от комнатной температуры до 300°С. Для изотермических режимов были выбраны температуры 80, 100 и 120°С со временем выдержки 240, 100 и 60 мин соответственно. После изотермической выдержки образцы нагревали со скоростью 10°С/мин до температуры 300°С, чтобы определить остаточную температуру реакции.

В работе для получения кинетических параметров реакции отверждения при изотермическом режиме отверждения использовали метод наименьших квадратов, реализованный в среде python. Параметры модели кинетики отверждения определяли с использованием многокритериальной оптимизации на основе ДСК кривых, полученных при изотермических исследованиях при помощи генетического алгоритма сортировки без доминирования NSGA-II.

Для определения максимальной теплоты реакции чистую эпоксидную смолу отверждали со скоростью нагрева 2 °С/мин. Теплота реакции, равная 416 Дж/г, в данной работе будет считаться теплотой полного отверждения связующего и использоваться для определения степени конверсии при неизотермических режимах отверждения. Степень конверсии в каждый момент времени  $a_t$  определялась согласно формуле [7]:

$$a_t = \frac{Q_t}{Q_{\text{пол}}}, \quad (4)$$

где  $Q_t$  – теплота реакции, выделившаяся к моменту времени  $t$ ;  $Q_{\text{пол}}$  – теплота полного отверждения связующего.

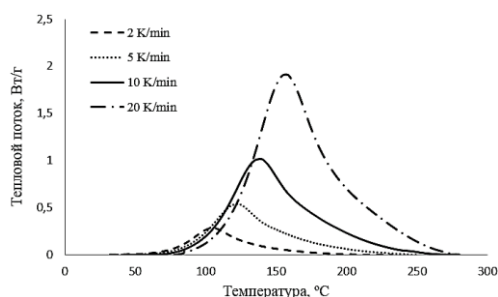


Рис. 1

Кривые отверждения связующего Т67 для различных скоростей нагрева представлены на рис. 1.

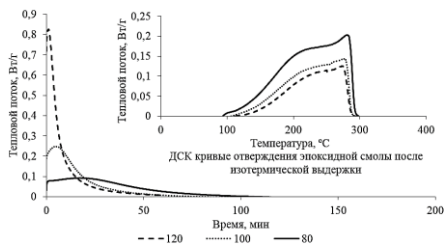


Рис. 2

Для исследования процесса отверждения при изотермической выдержке были выб-

Таблица 1						
Образец	T, °C	$k_1$	$k_2$	n	m	R <sup>2</sup>
T67	80	0,0051	0,0706	2,4057	0,7504	0,9873
	100	0,0198	0,2833	3,2245	1,0307	0,9939

Модель (1) показывает высокую сходимость с экспериментальными данными, особенно при низких степенях конверсии, модель не учитывает диффузионные эффекты, которые могут возникнуть во время стеклования при изотермических измерениях ниже предельной температуры стеклования. При сравнении зависимостей скорости отверждения, выраженной изменением величины конверсии в единицу времени, от времени, полученных при помощи экспериментальных данных и данных из модели (1), представленных на рис. 3, можно отметить, что модель (1) предсказывает более высокие значения скорости отверждения на поздней стадии реакции.

Хотя модель Камала-Сурура не учитывает влияния диффузии на поздней стадии процесса отверждения, однако благодаря вариативности степенных показателей она достаточно адаптивна и позволяет находить такие значения своих параметров, при кото-

раны температуры 80, 100 и 120 °C, далее образцы смолы нагревались до 300 °C со скоростью 10 °C/мин для определения остаточной температуры реакции. Изотермические ДСК кривые отверждения эпоксидной смолы с последующим нагревом до 300°C приведены на рис. 2.

Метод наименьших квадратов, реализованный в среде python, использовался для получения кинетических параметров реакции отверждения, приведенных в табл. 1.

данная модель обеспечивает высокую сходимость с измеренными значениями при конкретных условиях.

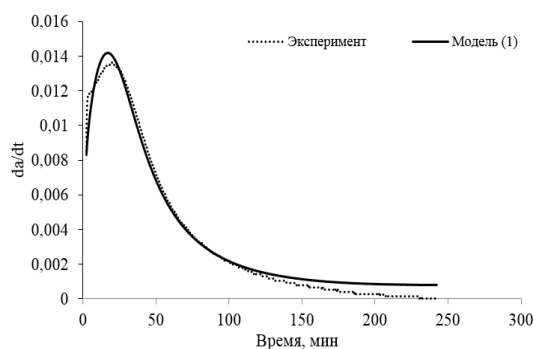


Рис. 3

В табл. 2 приведены параметры кинетической модели с учетом влияния диффузии. Для получения кинетических параметров модели (3) реакции отверждения также был использован метод наименьших квадратов, реализованный в среде python.

Таблица 2						
T, °C	k	m	n	C	R2	
80	0,0306	0,2746	1,3456	11,4148	0,9917	
100	0,1196	0,4112	2,4095	7,2717	0,9801	

Использование моделей с учетом диффузионных эффектов позволяет получить значения кинетических параметров, описывающих процесс отверждения с достаточной сходимостью во всем исследуемом диапазоне температур.

При определении единого набора кинетических параметров для модели отверждения эпоксидной смолы сложнопрофиль-

ного режима отверждения в работе был использован генетический алгоритм сортировки без доминирования NSGA-II. Он входит в группу методов многоцелевой оптимизации для определения параметров модели кинетики отверждения. Алгоритм поиска был выполнен с помощью платформы “рутоо” для программирования NSGA-II на python. В качестве конфликтующих це-



левых функций выступали зависимости сумм квадратов отклонений расчетных значений от экспериментальных данных от значений параметров модели. Энергия активации, значения параметров  $a_{co}$ ,  $a_{ct}$  были определены из экспериментальных данных. Области допустимых значений для остальных параметров модели, таких как предэкспоненциальный множитель, степенные показатели  $n$  и  $m$ , коэффициент  $C$ , определялись исходя из значений, полученных методом наименьших квадратов для каждого режима исследования (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Наименования параметра	Значение параметра
Энергия активации, кДж	48,9
Предэкспоненциальный множитель	936249,0
$m$	0,45
$n$	2,54
$C$	2,5
$a_{co}$	-2,79
$a_{ct}$	0,01

Для валидации модели (3) с параметрами, полученными многокритериальной оптимизацией, а также модели (1) и модели (3), был смоделирован полный цикл отверждения эпоксидной смолы. Данный цикл отверждения включает в себя как участки с изотермической выдержкой при температуре 80 и 120°C, так и участки с равномерным нагревом со скоростью 2°C/мин. Циклы со сложным профилем температурного режима в большинстве случаев являются рекомендованными циклами отверждения эпоксидной смолы, так как позволяют добиваться наиболее высоких степеней конверсии. На рис. 4 приведено сравнение экспериментальных данных с прогнозами представленных моделей.

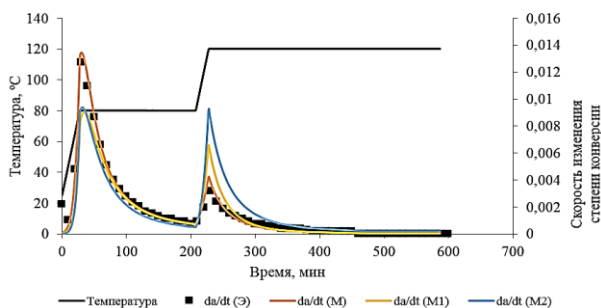


Рис.4

$da/dx$  (Э) – скорость отверждения, полученная экспериментально,  $da/dx$  (М) – скорость отверждения согласно модели (3) с параметрами, полученными многокритериальной оптимизацией;

$da/dx$  (М1) – скорость отверждения согласно модели (1);

$da/dx$  (М2) – скорость отверждения согласно модели с учетом диффузии (3).

Для модели (3) с параметрами, полученными многокритериальной оптимизацией, коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил 0,9921, для модели (1) и для модели (3) с параметрами, полученными методами наименьших квадратов,  $R^2$  составили 0,8874 и 0,7340.

Для оценки адекватности моделей используется  $R^2$ , а для сравнения сходимости моделей с экспериментальными значениями использовалась средняя абсолютная ошибка MAE, рассчитанная по формуле (5):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (5)$$

Кроме этого был использован показатель sMAE, который равен средней абсолютной ошибке, масштабированной относительно среднего значения, где  $n$  – число точек выборки;  $y_i$  – смоделированные данные;  $x_i$  – экспериментальные данные (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Модель	$R^2$	MAE	sMAE
М	0,9921	$1,48 \cdot 10^{-4}$	0,089
М1	0,8874	$4,12 \cdot 10^{-4}$	0,276
М2	0,7340	$7,89 \cdot 10^{-4}$	0,451

Исходя из представленных данных можно сделать вывод, что методика нахождения параметров моделей кинетики отверждения с использованием методов многокритериальной оптимизации позволяет добиваться высокой сходимости с экспериментальными результатами. Использование модели с параметрами, определенными методами многокритериальной оптимизации, позволяет снизить среднюю относительную ошибку более чем в три раза, по сравнению с моделями, параметры которых определены без применения оптимизации.



Предлагаемый подход возможно использовать для кинетического моделирования отверждения эпоксидных систем при циклах отверждения, включающих в себя как участки с изотермической выдержкой, так и динамические участки.

## ВЫВОДЫ

Моделирование процесса отверждения было произведено при помощи автокаталитических моделей с учетом и без учета диффузии для изотермических режимов отверждения.

В работе реализуется методика поиска единых параметров модели кинетики отверждения для различных изотермических режимов при помощи многокритериальной оптимизации.

Показано, что комбинация подходов автокаталитической модели процесса отверждения, учета диффузии и многокритериальной оптимизации позволят обеспечить высокую сходимость модели и экспериментальных данных при сложнопрофильных режимах отверждения, реализуемых при производстве изделий с использованием эпоксидных смол. Кроме этого преимуществом предлагаемого метода является отсутствие необходимости проведения большого числа экспериментов и нахождения отдельного подбора кинетических параметров для каждого участка режима отверждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kamal M. R., & Sourour S. (1973). Kinetics and thermal characterization of thermoset cure. *Polymer Engineering & Science*. – 13(1), 59-64. doi:10.1002/pen.760130110

2. Ерофеев В.Т., Ивлев В.И., Мышкин А.В., Юдин В.А., Ельчищева Т.Ф., Сигаев А.Ф. Механические свойства отвержденной полиэфиракрилатной смолы МГФ-9 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С. 311...319. [https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2022/03/396\\_47.pdf](https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2022/03/396_47.pdf)

3. Трофименко Е.А., Бухаркина Т.В., Вержичинская С.В., Гаврилов Ю.В. Кинетическая модель термостабилизации полиакрилонитрильных волокон в атмосфере азота // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С.129...135. [https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2022/03/396\\_18.pdf](https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2022/03/396_18.pdf).

4. Haider M., Hubert P., & Lessard L. Cure shrinkage characterization and modeling of a polyester resin containing low profile additives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2007. 38(3). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2006.06.020>

5. Obvertkin I.V., Pasechnik K.A., Vlasov A.Y. The potential of using SWCNTs, MWCNTs and CNFs capable of increasing the composite material dimensional and technological stability as modifiers of a polymer matrix // *PNRPU Mechanics Bulletin*. – 2021. №4. P.98...110. doi: 10.15593/perm.mech/2021.4.10

6. Mehdi Javdanitehran, David Christian Berg, Erik Duemichen, Gerhard Ziegmann. An iterative approach for isothermal curing kinetics modelling of an epoxy resin system, *Thermochimica Acta*. – V. 623, 2016, Pages 72...79, ISSN 0040-6031, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.11.014>

7. Christina Kyriakou Tziamtzi, Konstantinos Chrissafis, Optimization of a commercial epoxy curing cycle via DSC data kinetics modelling and TTT plot construction, *Polymer*. – V. 230, 2021, 124091, ISSN 0032-3861. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124091>.

## REFERENCES

1. Kamal M. R., & Sourour S. (1973). Kinetics and thermal characterization of thermoset cure. *Polymer Engineering & Science*. – 13(1), 59-64. doi:10.1002/pen.760130110

2. Erofeev V.T., Ivlev V.I., Myshkin A.V., Yudin V.A., Elchishcheva T.F., Sigachev A.F. Mechanical properties of the cured polyester acrylate resin MGF-9 // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, № 6. S. 311...319.

3. Trofimenko E.A., Bukharkina T.V., Verzichinskaya S.V., Gavrilov Yu.V. Kinetic model of polyacrylonitrile fibre thermostabilisation in nitrogen atmosphere // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, № 6. S. 129...135.

4. Haider M., Hubert P., & Lessard L. (2007). Cure shrinkage characterization and modeling of a polyester resin containing low profile additives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(3).<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2006.06.020>

5. Obvertkin I.V., Pasechnik K.A., Vlasov A.Y. The potential of using SWCNTs, MWCNTs and CNFs capable of increasing the composite material dimensional and technological stability as modifiers of a polymer matrix // *PNRPU Mechanics Bulletin*. – 2021, №4. P. 98...110. doi: 10.15593/perm.mech/2021.4.10

6. Mehdi Javdanitehran, David Christian Berg, Erik Duemichen, Gerhard Ziegmann, An iterative approach for isothermal curing kinetics modelling of an epoxy resin system, *Thermochimica Acta*, Volume 623, 2016, Pages 72-79, ISSN 0040-6031, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.11.014>

7. Christina Kyriakou Tziamtzi, Konstantinos Chrissafis, Optimization of a commercial epoxy curing cycle via DSC data kinetics modelling and TTT plot construction, Polymer, Volume 230, 2021, 124091, ISSN 0032-3861. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124091>.

Рекомендована научной лабораторией "Интеллектуальные материалы и структуры" СибГУ им. М.Ф. Решетнева Поступила 31.10.22.

УДК 691+677  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_227

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ ОТХОДОВ ПРЯДЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН

### INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND FACTORS OF THE PRODUCTION PROCESS ON PERFORMANCE INDICATORS THERMAL INSULATION BOARDS FROM VEGETABLE FIBERS SPIN WASTE

*И.В. СУСОЕВА, Т.Н. ВАХНИНА, А.А. ТИТУНИН*

*I.V. SUSOEVA, T.N. VAKHNINA, A.A. TITUNIN*

(Костромской государственный университет)

(Kostroma State University)

E-mail: i.susoeva@yandex.ru

*В статье представлены результаты исследования показателей композиционных теплоизоляционных плит из отходов прядения льна и фенолоформальдегидного связующего. Наполнителем композита являются мелкодисперсные невозвратные отходы прядения льняных волокон. Композиты изготавливались методом сушки по технологии древесноволокнистых плит мокрого способа производства. Недостатком наполнителя является высокая горючесть, без применения огнезащитных средств материал имеет группу горючести Г4. Для снижения горючести в композит добавлен алюмохромфосфат. В качестве метода исследования использован регрессионный анализ, в частности – В-план второго порядка. Разработаны регрессионные математические модели второго порядка эксплуатационных показателей теплоизоляционных плит. Построены поверхности отклика для показателя – потеря массы плит при огневом воздействии. Анализ математических моделей позволил оценить характер влияния факторов на эксплуатационные показатели композиционных материалов и разработать рекомендации для изготовления плит с группой горючести Г2. Коэффициент теплопроводности материала имеет значения 0,068...0,07 Вт/(м·К).*

*The article presents the results of a study of the indicators of composite thermal insulation boards from flax spinning waste and phenol-formaldehyde binder. The filler of the composite is fine non-returnable waste of spinning flax fibers. The composites were made by drying using the technology of wood-fiber boards of the wet production method. The disadvantage of the filler is high flammability, without the use of flame retardants, the material has a flammability group G4. Alumochromophosphate was added to the composite to reduce flammability. Regression analysis,*

*in particular, the second-order B-plan, was used as a research method. Regression mathematical models of the second order of performance indicators of thermal insulation boards have been developed. Response surfaces are constructed for the indicator of the mass loss of boards during fire exposure. The analysis of mathematical models made it possible to assess the nature of the influence of factors on the performance of composite materials and to develop recommendations for the manufacture of boards with a combustibility group G2. The thermal conductivity coefficient of the material has values of 0.068...0.07 W/(m • K).*

**Ключевые слова:** растительные отходы, лен, хлопок, композиционные плиты, регрессионная модель, предел прочности, статический изгиб, коэффициент теплопроводности, потеря массы при горении.

**Keywords:** plant waste, flax, cotton, composite boards, regression model, tensile strength, static bending, thermal conductivity coefficient, mass loss during combustion.

Теплоизоляционные плитные материалы из растительных наполнителей потенциально являются эффективным материалом для деревянного домостроения. Они имеют возобновляемый сырьевой потенциал, низкую теплопроводность, обусловленную структурой и свойствами растительного наполнителя. Сдерживает рост применения в строительстве целлюлозосодержащих плитных материалов повышенная горючесть. Снизить горючесть материала можно различными способами, включая поверхностную обработку материала огнезащитными средствами, соединение в композите растительного наполнителя и неорганической матрицы, применение различных замедлителей горения.

Вопросами повышения огнезащитности древесных плит занимались А. А. Леонович [1], А. Б. Сивенков [2], М.Ю. Демина [3], В. М. Балакин, Т. М. Шуртов и др. [4...9].

Растительные волокна и отходы их производства являются важным сырьем для производства композитов. По мнению Yasemin Seki с соавторами, одним из основных их преимуществ в настоящее время является биоразлагаемость [10]. К существенным недостаткам растительных отходов относятся низкая водостойкость и высокая горючесть. Для использования в строительстве композитов из целлюлозосодержащих наполнителей необходимо обеспечить их соответствие нормативным требованиям

безопасности, т.е., в первую очередь, снизить горючесть материала.

Многие исследователи используют для снижения горючести композитов неорганические материалы. Mouad Chakkoou с соавторами предлагают для улучшения водостойкости и огнестойкости композитов из растительных волокон использовать наночастицы глины [11]. Suheyla Kocaman с коллегами использовали для снижения горючести композита из хлопкового волокна и фенольного связующего добавку гидроксида алюминия и борной кислоты [12]. Ulku Soydal в разработке композита на основе хлопковых отходов, новолачного фенольного связующего и эпоксидной смолы использовал для повышения огнестойкости наноглину [13]. Наноглина также используется в работах для улучшения показателей композитов из гибридного связующего и волокон бамбука, кенафа и др. [14].

В исследовании авторов, выполненном на кафедре ЛДП КГУ, для снижения горючести теплоизоляционных композитов из отходов прядения льняных волокон и фенолоформальдегидного связующего (ФФС) использовалась добавка алюмохромфосфата (АХФ). Композиты изготавливались мокрым способом методом сушки по технологии производства древесноволокнистых плит [15]. Эксперимент выполнен по В-плану второго порядка, диапазоны варьирования факторов представлены в табл. 1. План эксперимента и результаты статисти-

ческой обработки данных представлены в табл. 2. Выходные величины:  $Y_1$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $Y_2$  – прочность при статическом изгибе, МПа;  $Y_3$

– степень повреждения по массе при огневом воздействии, %.

Таблица 1

Наименование фактора	Обозначение фактора		Уровни варьирования			Интервал варьирования $\Delta_i$
	натуральное	кодированное	-1	0	+1	
Доля добавки связующего, %	$R_{св}$	X1	0	20	40	20
Температура сушки, °С	$T_{суш}$	X2	80	120	160	40
Доля добавки АХФ, %	ДАХФ	X3	0	15	30	15

Таблица 2

№	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Средние арифметические и дисперсии выходных величин					
				$\bar{Y}_1, \bar{\lambda},$ Вт/м·К	Дисперсия $S^2, \text{Вт/м} \cdot \text{К}^2$	$\bar{\sigma}_{и}, \bar{Y}_2,$ МПа	$S^2,$ МПа <sup>2</sup>	$\Delta\bar{m}, \bar{Y}_3,$ %	$S^2,$ % <sup>2</sup>
1	+	+	+	0,070	$6 \cdot 10^{-5}$	0,66	$2 \cdot 10^{-3}$	47,2	2,47
2	-	+	+	0,067	$2 \cdot 10^{-5}$	0,47	$2 \cdot 10^{-3}$	68,6	2,9
3	+	-	+	0,073	$6 \cdot 10^{-5}$	0,58	$2 \cdot 10^{-3}$	48,5	1,2
4	-	-	+	0,069	$2 \cdot 10^{-5}$	0,34	$3 \cdot 10^{-3}$	67,4	2,8
5	+	+	-	0,068	$7 \cdot 10^{-5}$	0,50	$3 \cdot 10^{-3}$	70,9	2,8
6	-	+	-	0,060	$3 \cdot 10^{-5}$	0,26	$3 \cdot 10^{-3}$	76,7	1,6
7	+	-	-	0,069	$8 \cdot 10^{-5}$	0,37	$2 \cdot 10^{-3}$	69,7	2,07
8	-	-	-	0,062	$3 \cdot 10^{-5}$	0,19	$3 \cdot 10^{-3}$	82,0	1,03
9	+	0	0	0,073	$4 \cdot 10^{-5}$	0,33	$5 \cdot 10^{-3}$	69,3	2,8
10	-	0	0	0,064	$2 \cdot 10^{-5}$	0,42	$1 \cdot 10^{-3}$	76,1	2,08
11	0	+	0	0,069	$2 \cdot 10^{-5}$	0,34	$3 \cdot 10^{-3}$	69,1	1,98
12	0	-	0	0,072	$3 \cdot 10^{-5}$	0,41	$3 \cdot 10^{-3}$	68,0	1,08
13	0	0	+	0,071	$5 \cdot 10^{-5}$	0,42	$2 \cdot 10^{-3}$	47,9	2,2
14	0	0	-	0,068	$2 \cdot 10^{-5}$	0,34	$2 \cdot 10^{-3}$	73,8	2,6

Коэффициент теплопроводности плит определялся с помощью измерителя теплопроводности ИТП-МГ-4 в соответствии с ГОСТ 7076–99, "Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме". Испытания на горючесть проводились в

установке, керамический короб, по ГОСТ Р 53292–2009.

По результатам обработки экспериментальных данных разработаны регрессионные математические модели показателей композита:

- коэффициент теплопроводности:

$$Y_1 = 0,071 + 0,003X_1 - 0,001X_2 + 0,002X_3 - 0,002X_1^2 - 0,000X_2^2 - 0,001X_3^2 + 0,000X_1X_2 - 0,001X_1X_3 - 0,00X_2X_3, \quad (1)$$

- прочность при статическом изгибе:

$$Y_2 = 0,363 + 0,076X_1 + 0,036X_2 + 0,083X_3 + 0,022X_1^2 + 0,022X_2^2 + 0,027X_3^2 + 0,001X_1X_2 + 0,001X_1X_3 + 0,004X_2X_3, \quad (2)$$

- степень повреждения по массе при огневом воздействии:

$$Y_3 = 67,87 - 6,52X_1 - 0,31X_2 - 9,35X_3 + 4,85X_1^2 - 0,69X_2^2 - 7,00X_3^2 - 0,50X_1X_2 - 2,78X_1X_3 + 0,50X_2X_3. \quad (3)$$

С увеличением доли добавки связующего коэффициент теплопроводности материала растет, таким же образом влияет и доля добавки алюмохромфосфата. Объясняется это различиями в теплопроводности материалов – растительного наполнителя и связующих, поликонденсационного (ФФС) и неорганического (АХФ). Однако рост показателя находится в пределах значений для теплоизоляционного материала – 0,06...0,073 Вт/(м·К). С ростом массовой доли добавки связующего и АХФ увеличивается прочность материала при статическом изгибе и снижается потеря массы при огневом воздействии.

Графики зависимости (поверхности отклика) потери массы при горении от варьируемых технологических факторов представлены на рис. 1 (а – поверхность отклика при  $X_2 = +1$ ; б – поверхность отклика при  $X_2 = -1$ ). Потеря массы при горении уменьшается при увеличении всех факторов. При максимальной доле добавки АХФ (в рамках диапазона варьирования фактора) потеря массы композита при огневом воздействии не превышает 50 %.

Параметры горючести рекомендуемых к производству композитов и контрольных образцов, изготовленных при температуре сушки 120 °С, доле добавки ФФС

(Д<sub>ФФС</sub>) 20 %, без добавки АХФ, представлены в табл. 3.

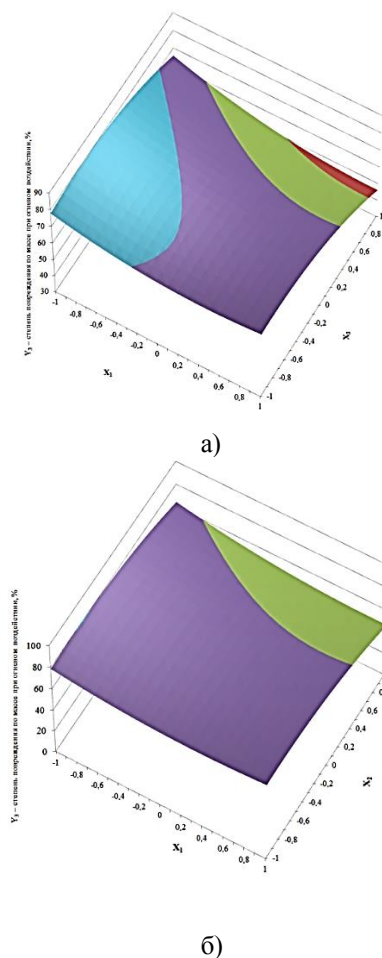


Рис. 1

Таблица 3

Значения технологических факторов процесса изготовления композита		Параметры горючести		Группа горючести
Композит, доля добавки связующего, добавка АХФ	Температура сушки композита, °С	Потеря массы при огневом воздействии* Δm, %	Температура дымовых газов, °С	
Контрольный, Д <sub>ФФС</sub> = 20 %; Д <sub>АХФ</sub> = 0 %	120 °С	$\frac{70,2}{70,9}$	475	Г4
Контрольный, Д <sub>ФФС</sub> = 30 %; Д <sub>АХФ</sub> = 0 %	160 °С	$\frac{68,1}{68,4}$	465	Г4
Рекомендуемый, Д <sub>ФФС</sub> = 30 %; Д <sub>АХФ</sub> = 30 %	160 °С	$\frac{49,35}{49,8}$	230	Г2

Без добавки АХФ композит имеет параметры горючести, соответствующие группе горючести Г4. Эффективность снижения горючести при добавке АХФ обусловлена

его термическими свойствами. По данным О.А. Клинова, при нагреве АХФ в интервале 300...340 °С удаляется кристаллизационная вода, при нагреве до 400 °С начина-

ется кристаллизация алюмофосфатов, при 500...800 °С выделяются кристаллы пирофосфата алюминия, а после 800 °С – метафосфата и ортофосфата алюминия [16]. Кристаллизация продуктов термической деструкции замедляет процесс выделения дымовых газов и потерю массы за счет уменьшения выделения продуктов деструкции в газовую среду.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, для производства теплоизоляционных плит на фенолоформальдегидном связующем из невозвратных отходов прядения льна можно рекомендовать сочетание технологических факторов процесса производства: долю добавки фенолоформальдегидного связующего 30 %, добавки АХФ – 30 %. При данном сочетании факторов теплоизоляционные композиты из мелкодисперсных отходов прядения льна отвечают требованиям, предъявляемым к материалам группы горючести Г2, при этом коэффициент теплопроводности материала имеет значения 0,068...0,07 Вт/(м·К).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонович А.А.* Теория и практика изготовления огнезащитных древесных плит. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1978.
2. *Сивенков А.Б.* Снижение пожарной опасности материалов на основе целлюлозы: Дис...канд. техн. наук. – М.: АГПС МЧС России, 2002.
3. *Демина М.Ю.* Технология изготовления огнезащитных древесностружечных плит: Дис...канд. техн. наук. – СПб.: СПбГЛТУ, 2004.
4. *Балакин В.М., Литвинец Ю.И., Выдрина Т.С., Рыбкина Ю.В.* Пути создания огнестойких ДСтП с высокими физико-механическими свойствами // Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса. – Екатеринбург, 1993. С. 151...152.
5. *Шутов Т.М., Ардиан М.А., Бугнева Е.А., Стригуцкая Т.А., Куликов Ю.А., Михнюк Б.М.* Технология получения трудногорючих древесностружечных плит // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. – Минск, 1993. Вып.1. С. 89...93.
6. *Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А.* Исследование свойств лигноцеллюлозных волокон и отходов их переработки // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С.221...226.

7. *Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А.* Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980.

8. *Yao F, Wu Q, Lei Y.* Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis // *Polymer Degradation and Stability*. – 2008. Vol. 93(1). P. 90...98.

9. *Говырин Б.А., Маслакова Е.А., Каплунова О.Е.* Влияние огнезащитных добавок на физико-механические свойства плит, используемых в домостроении // Механическая обработка древесины. – 1980. Вып. 11. С. 16...19.

10. *Seki Y., Selli F., Erdoğ an Ümit Halis, Atagür M., Seydibeyođ lu M. Özgür.* A review on alternative raw materials for sustainable production: novel plant fibers // *Cellulose*. – 2022. Vol. 29. P. 4877...4918.

11. *Chakkour M., Moussa M.O., Khay I., Balli M., Zineb T.B.* Towards widespread properties of cellulosic fibers composites: A comprehensive review // *Journal of reinforced plastics and composites*. – 2022. Vol. 0(0). P.1...42.

12. *Kocaman S., Soydal U., Ahmetli G.* Influence of cotton waste and flame-retardant additives on the mechanical, thermal, and flammability properties of phenolic novolac epoxy composites // *Cellulose*. – 2021. Vol. 28(5). P. 7765...7780.

13. *Soydal U.* Cotton waste and nanoclay-based phenolic novolac epoxy composites and evaluation of their properties // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2022. Vol. 139(45). P.172...178.

14. *Chee S.S., Jawaida M., Sultana M.T.H., Althman O.Y., Abdullaha L.C.* Effects of nanoclay on physical and dimensional stability of Bamboo/Kenaf/nanoclay reinforced epoxy hybrid nanocomposites // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2020. Vol. 9(3). P. 1...10.

15. *Сусоева И.В.* Научные основы управления физико-химическими процессами структурообразования теплоизоляционного материала из многокомпонентного целлюлозосодержащего наполнителя: Дис...докт. техн. наук. – Иваново: ИВГПУ, 2021.

16. *Клинов О.А.* Жаростойкий газобетон на основе алюмосиликофосфатного связующего с добавкой огнеупорного волокна: Дис...канд. техн. наук. – Челябинск: Юж.-Ур. гос. ун-т, 2008.

## REFERENCES

1. Leonovich A.A. Theory and practice of manufacturing fireproof wood boards. - L.: Leningrad University, 1978.
2. Sivenkov A.B. Reducing the fire hazard of cellulose-based materials: Dis. ... cand. tech. sciences. – M.: AGPS EMERCOM of Russia, 2002.
3. Demina M.Yu. Technology for the manufacture of fire-unprotected particle boards: Dis...cand. tech. Sciences. - St. Petersburg: SPbGLTU, 2004.
4. Balakin V.M., Litvinets Yu.I., Vydrina T.S., Rybkina Yu.V. Ways to create fire-resistant chipboards with high physical and mechanical properties // *Contribution*

of scientists and specialists to the development of the chemical-forestry complex. Yekaterinburg. - 1993. P.151 ... 152.

5. Shutov T.M., Ardshan M.A., Bugneva E.A., Strigutskaya T.A., Kulikov Yu.A., Mikhnyuk B.M. Technology for obtaining slow-burning wood chipboards // *Technology and equipment for harvesting and wood processing*. Minsk. - 1993. Issue 1.P. 89...93.

6. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A. Investigation of lignocellulose fibers and their waste processing // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. - 2016, № 6 (366). P. 221...226.

7. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. Technology of thermal insulation materials. - M.: Stroyizdat, 1980.

8. Yao F, Wu Q, Lei Y. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis // *Polymer Degradation and Stability*. - 2008. Vol. 93(1).P. 90...98.

9. Govyrin B.A., Maslakova E.A., Kaplunova O.E. Influence of flame retardant additives on the physical and mechanical properties of boards used in building construction. // *Mechanical processing of wood*. - 1980. Issue. 11. P. 16...19.

10. Seki Y., Selli F., Erdoğan Ümit Halis, Atagür M., Seydibeyoğlu M. Özgür. A review on alternative raw materials for sustainable production: novel plant fibers // *Cellulose*. - 2022. Vol. 29.P. 4877...4918.

11. Chakkour M., Moussa M.O., Khay I., Balli M., Zineb T.B. Towards widespread properties of cellulosic fibers composites: A comprehensive review // *Journal of*

*reinforced plastics and composites*. - 2022. Vol. 0(0). P.1...42.

12. Kocaman S., Soydal U., Ahmetli G. Influence of cotton waste and flame-retardant additives on the mechanical, thermal, and flammability properties of phenolic novolac epoxy composites // *Cellulose*. - 2021. Vol. 28(5).P. 7765...7780.

13. Soydal U. Cotton waste and nanoclay-based phenolic novolac epoxy composites and evaluation of their properties // *Journal of Applied Polymer Science*. - 2022. Vol. 139(45). P. 172...178.

14. Chee S.S., Jawaida M., Sultana M.T.H., Alotthmanc O.Y., Abdullaha L.C. Effects of nanoclay on physical and dimensional stability of Bamboo/Kenaf/nanoclay reinforced epoxy hybrid nanocomposites // *Journal of Materials Research and Technology*. - 2020. Vol. 9(3).P. 1...10.

15. Susoeva I.V. Scientific bases of management of physical and chemical processes of structure formation of heat-insulating material from a multi-component cellulose-containing filler: Diss....doc. tech. sciences. - Ivanovo: IVGPU., 2021.

16. Klinov O.A. Heat-resistant aerated concrete based on aluminosilicate phosphate binder with the addition of refractory fiber: Dis....cand. tech. sciences. - Chelyabinsk: Yuzh.-Ur. state un-t, 2008.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств КГУ. Поступила 09.11.22.



СОДЕРЖАНИЕ

**Экономика, управление и организация производства**

<i>Яшева Г.А., Вайлунова Ю.Г., Вардомацкая Е.Ю.</i> Региональные университеты в кластерно-сетевом партнерстве: оценка и развитие взаимодействия .....	5
<i>Алексеева Е.А.</i> Конкурентоспособность персонала в легкой и текстильной промышленности Республики Беларусь в условиях цифровизации экономики .....	17
<i>Лапишинов С.Б., Жукова Я.Э., Сперанский С.Н., Амаржаргалан Т.</i> К вопросу об эффективности управления товарными запасами на основе статистики ретроспективных продаж .....	23
<i>Ванкевич Е.В., Горовой С.О.</i> Теоретические подходы и прикладные инструменты изучения трудоустройства специалистов текстильной промышленности в Республике Беларусь .....	27

**Материаловедение**

<i>Скобова Н.В., Ясинская Н.Н.</i> Исследование транспорта влаги в двухслойных трикотажных структурах из полиэфирных нитей под действием внешней нагрузки .....	39
<i>Зимица М.В., Чагина Л.Л., Иргашева А.Ш.</i> Совершенствование метода оценки и прогнозирования изменения окраски текстильных материалов и изделий .....	45
<i>Панкевич Д.К., Ивашко Е.И., Кудрицкий В.Г.</i> Оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов различных структур .....	51
<i>Кащеев О.В., Шустов Ю.С.</i> Прогнозирование разрывной нагрузки хлопколавсановой ткани различного процентного содержания .....	60
<i>Онищенко Н.А., Зяблов В.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.</i> Совершенствование нормативного обеспечения при оценке качества волокнистых теплоизоляционных материалов .....	63

**Первичная обработка. Прядение**

<i>Тождимирзаев С.Т., Парпиев Х., Плеханов А.Ф., Виноградова Н.А.</i> Влияние скорости движения шляпок чесальных машин на физико-механические показатели ленты и пряжи .....	69
<i>Демидова М.А., Рыклин Д.Б.</i> Влияние рецептуры прядильного раствора на структуру нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования .....	74

**Технология текстильных изделий**

<i>Муракаева Т.В., Николаева Е.В.</i> Анализ расстановки нитеводов при выработке трикотажа сложных структур .....	81
<i>Алламуратова Т.К., Мукимов М.М., Алланиязов Г.Ш.</i> Исследование влияния вида сырья на технологические параметры двухслойного трикотажа .....	86
<i>Хабибуллоев А., Гречухин А.П., Рудовский П.Н., Старинец И.В., Куликов А.В.</i> Расчет параметров берда при формировании трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования .....	92

**Химия и технология отделки и модификации**

<i>Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А., Солодушенкова Т.С., Корнилова Н.Л., Никифорова Е.Н.</i> Подбор целлюлаз для умягчающей обработки льняных изделий пропиткой растворами биопрепаратов .....	98
<i>Кудрявцева Е.В., Буринская А.А.</i> Качественная оценка хлопчатобумажных текстильных материалов, модифицированных бикомпонентными наночастицами металлов .....	106
<i>Кузьмичева Е.А., Калугина М.С., Михайловская А.П., Лысова С.С.</i> Получение текстильно-вспомогательного вещества на основе галогенида тетраалкиламмония .....	117
<i>Хлыстова Т.С., Фидоровская Ю.С., Петрова Л.С.</i> "Зеленый синтез" наночастиц серебра для придания антимикробных свойств текстильным материалам .....	123

## Швейное производство

<i>Леденева И.Н., Литвин Е.В., Белгородский В.С., Сницар Л.Р.</i> Плоскошовные ниточные соединения – решение проблемы прочностных свойств заготовки верха войлочной обуви .....	130
<i>Голубчикова А.В., Пивкина С.И., Егоренкова О.С., Лазуренко С.Б.</i> Направления разработки одежды для детей с буллезным эпидермолизом.....	136
<i>Кузьмичев В.Е., Жукова И.В., Сахарова Н.А.</i> Разработка конструктивно-антропометрического обеспечения процесса конструирования одежды .....	143
<i>Залялютдинова Г.Р., Хамматова В.В.</i> Информационные 3D-технологии в проектировании изделий текстильной и легкой промышленности .....	148

## Автоматизация и информационные технологии

<i>Переборова Н.В.</i> Цифровые методы прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных текстильных материалов .....	154
<i>Сигачева В.В., Меньило И.Е.</i> Система диагностирования ткацкого станка для бумагоделательных сеток с определением диагностических параметров вейвлет-анализом 3D-ускорений .....	160
<i>Огурцов В.А., Алешина А.П., Хохлова Ю.В., Огурцов А.В., Артемьев А.Н.</i> Разработка модели вибросепарации мелкодисперсных материалов через ситовые тканые полотна при их многоэтажной компоновке .....	166
<i>Тютиков В.В., Блинов О.В., Ставров С.Г., Obeid Dr., Ершов С.В.</i> О возможностях моделирования и анализа автоматизированных технологических систем текстильного производства на основе программируемых логических контроллеров .....	171

## Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

<i>Циркина О.Г., Спиридонова В.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А.</i> К вопросу обеспечения пожарной безопасности предприятий текстильной промышленности .....	177
<i>Огурцов В.А., Румянцева В.Е., Митрофанов А.В., Огурцов А.В., Зарубин З.В.</i> Математическое моделирование пиролиза отходов текстильного производства в реакторе периодического действия с рубашкой нагрева .....	183
<i>Король Е.А., Дегаев Е.Н., Нармания Б.Е.</i> Верификация температуры воздуха рабочих зон на предприятиях текстильной промышленности .....	189

## Техническая эстетика и дизайн

<i>Щепочкина Ю.А.</i> Символика в текстильном рисунке .....	195
<i>Ванькович С.М., Габриэль Г.Н.</i> Репрезентация ретростилей в истории европейской моды .....	198
<i>Рыбакова И.В., Галанин С.И.</i> Нашивные украшения с эмалью в историческом костюме и их место в современных трендах .....	208

## Композиты на волокнистой основе

<i>Бизюк А.Н., Ясинская Н.Н.</i> Моделирование пропитки при формировании полимерных композиционных материалов .....	215
<i>Обверткин И.В., Пасечник К.А., Воронина С.Ю.</i> Моделирование кинетики отверждения эпоксидной матрицы волокнистого композиционного материала методами многокритериальной оптимизации .....	221
<i>Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А.</i> Влияние состава и факторов процесса производства на эксплуатационные показатели теплоизоляционных плит из отходов прядения растительных волокон ..	227

## CONTENTS

### Economics and Production Planning

<i>Yasheva G.A., Vailunova Yu.G., Vardomatskaya E.Yu.</i> Regional Universities in Cluster-Network Partnership: Evaluation and Development of Interaction .....	5
<i>Alekseyeva A.A.</i> Competitiveness of Staff in Textile and Light Industry of the Republic of Belarus in the Context of Digitalization of the Economy .....	17
<i>Lapshinov S.B., Zhukova Ya.E., Speransky S.N., Amarjargalan T.</i> on the Issue of the Efficiency of Inventory Management Based on the Statistics of Retrospective Sales .....	23

<i>Vankevich E.V., Gorovoy S.O.</i> Theoretical Approaches and Applied Tools for Studying the Employment of Specialists in the Textile Industry in the Republic of Belarus .....	27
--	----

### Materials

<i>Skobova N.V., Yasinskaya N.N.</i> Studies of Moisture Transport in Two-Layer Knitted Structures from Polyester Threads under External Load .....	39
<i>Zimina M.V., Chagina L.L., Irgasheva A.Sh.</i> Improving the Method of Assessment and Forecasting Color Changes of Textile Materials and Products .....	45
<i>Pankevich D.K., Ivashko E.I., Kudritskiy V.G.</i> Evaluating the Properties of Multilayer Membrane Textile Materials with Different Structures .....	51
<i>Kashcheev O.V., Shustov Yu.S.</i> Prediction of Breaking Load of Various Percentage Cotton Avsan Fabric .	60
<i>Onipchenko N.A., Zyablov V.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N.</i> Regulatory Support Improvement for the Assessment of Fibrous Thermal Insulation Materials Quality .....	63

### Preliminary Treatment. Spinning

<i>Tojimirzaev S.T., Parpiev Kh., Plekhanov A.F., Vinogradova N.A.</i> The Influence of Card Flats Speed on the Yarn and Sliver Quality .....	69
<i>Demidova M.A., Ryklin D.B.</i> Effect of the Spinning Solution Formulation on the Structure of Nanofibrous Materials Produced by Electrospinning .....	74

### Technology of Textile Products

<i>Murakaeva T.V., Nikolaeva E.V.</i> The Analysis of the Yarn Feeders Arrangement in the Technology of Complex Knitted Structures .....	81
<i>Allamuratova T.K., Mukimov M.M., Allaniyazov G.Sh.</i> Research of the Raw Materials Influence on the Technological Parameters of Double-Layer Knitwear .....	86
<i>Khabibulloev A., Grechukhin A.P., Rudovsky P.N., Starinets I.V., Kulikov A.V.</i> Calculation of the Reed Parameters in Technology of Three-Dimensional Orthogonal Fabrics with Crosslink by a Single System of Threads in the Formation Zone .....	92

### Chemistry and Technology of Finishing and Modification

<i>Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A., Solodushenkova T.S., Kornilova N.L., Nikiforova E.N.</i> Selection of Cellulases for Impregnation of Linen Textile to Perform the Softening Treatment .....	98
<i>Kudriavtseva E.V., Burinskay A.A.</i> Qualitative Assessment of Cotton Textile Materials Modified with Bicomponent Metallic Nanoparticles .....	106
<i>Kuzmicheva E.A., Kalugina M.S., Mikhailovskaya A.P., Lysova S.S.</i> Synthesis of Textile Auxiliary Substance Based on Tetraalkylammonium Halogenide .....	117
<i>Khlystova T.S., Fidorovskaya Yu.S., Petrova L.S.</i> "Green Synthesis" of Silver Nanoparticles to Give Antimicrobial Properties to Textile Materials .....	123

### Sewing

<i>Ledeneva I.N., Litvin E.V., Belgorodsky V.S., Snitsar L.R.</i> Flat-Seam Thread Joints – Strength Properties Problem Solution of Felt Shoe Top Blank .....	130
<i>Golubchikova A.V., Pivkina S.I., Egorenkova O.S., Lasurenko S.B.</i> Trends of Clothes Design for Children with Epidermolysis Bullosa .....	136
<i>Kuzmichev V.E., Zhukova I.V., Sakharova N.A.</i> Providing of Pattern and Anthropometric Oriented Database in Terms of Clothes Design .....	143
<i>Zalyalyutdinova G.R., Khammatova V.V.</i> 3D Information Technologies in the Design of Products of the Textile and Light Industries .....	148

### Automation and Information Technologies

<i>Pereborova N.V.</i> Digital Methods for Deformation and Relaxation Processes Prediction of Polymeric Textile Materials .....	154
<i>Sigacheva V.V., Menyailo I.E.</i> Weaving Machine Diagnosis System for Paper-Making Nets with Determination of Diagnostic Parameters Wevelet-Analysis by 3D Accelerations .....	160
<i>Ogurtzov V.A., Aleshina A.P., Khokhlova Yu.V., Ogurtzov A.V., Artemyev A.N.</i> Vibroseparation of Fine-Particle Materials through Sieve Woven Cloths under their Multi-Layered Arrangement .....	166

<i>Tyutikov V.V., Blinov O.V., Stavrov S.G., Dr. Obeid, Ershov S.V.</i> On the Possibilities of Simulation and Automated Technological Systems Analysis of Textile Production Based on Programmable Logic Controllers .....	171
---	-----

### **Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering**

<i>Tsirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.Kh., Syrbu S.A.</i> On the Issue of Ensuring Fire Safety of Enterprises Textile Industry .....	177
<i>Ogurtsov V.A., Rumyantseva V.E., Mitrofanov A.V., Ogurtsov A.V., Zarubin Z.V.</i> Mathematical Modeling of Textile Waste Pyrolysis in a Batch Reactor with a Heating Jacket .....	183
<i>Korol E.A., Degaev E.N., Narmania B.E.</i> The Air Temperature Verification of Working Areas in the Textile Industry .....	189

### **Technical Aesthetics and Design**

<i>Shchepochkina Yu.A.</i> Symbolism in Textile Drawing .....	195
<i>Vankovich S.M., Gabriel G.N.</i> Representation of Retro Styles in the History of European Fashion .....	198
<i>Rybakova I.V., Galanin S.I.</i> Sewn Jewelry with Enamel in a Historical Costume and their Place in Modern Trends .....	208

### **Fiber-based Composites**

<i>Biziuk A.N., Yasinskaya N.N.</i> Modeling of Impregnation During the Formation of Polymer Composite Materials .....	215
<i>Obvertkin I.V., Pasechnik K.A., Voronina S.Yu.</i> Modeling the Curing Kinetics of an Epoxy Matrix of a Fibrous Composite Material by Multicriteria Optimization Methods .....	221
<i>Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A.</i> Influence of the Composition and Factors of the Production Process on Performance Indicators Thermal Insulation Boards from Vegetable Fibers Spin Waste .....	227