

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 (408)  
2023**

*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 Международные базы данных: SCOPUS и CAS(pt), индексирующие научные издания

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

Издание Ивановского государственного политехнического университета

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Главный редактор  
Заместитель главного редактора

*Е.В. РУМЯНЦЕВ (д.х.н., ректор)*  
*Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.)*

**Редакционная коллегия (Россия):**

*А.А. БИКБУЛАТОВА (д.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.), 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.),  
Н.П. ПРОРОКОВА (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.),  
Г.Г. СОКОВА (д.т.н., проф.), Е.Я. СУРЖЕНКО (д.т.н., проф.), С.А. СЫРБУ (д.х.н., проф.),  
М.Н. ТИТОВА (д.э.н., проф.), О.В. ТОЛОЧКО (д.т.н., проф.), А.В. ТРУЕВЦЕВ (д.т.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. ЦИРКИНА (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.),  
Д.Н. ЧАЙКОВСКИЙ (к.филос.н., проф.)*

Ответственный секретарь *Е.Н. КАЛИНИН*

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

*Тел.: (4932) 41-75-02.*

*E-mail: [ttp@ivgpi.ru](mailto:ttp@ivgpi.ru)*

*<http://ttp.ivgpi.ru>*

---

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796.

Сдано в набор 27.11.2023. Подписано в печать 27.12.2023. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 35,34. Заказ 6234. Тираж 400 экз.

---

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

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)

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 (408)  
2023**

*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.)*

**Editorial board (Russia):**

*A.A. BIKBULATOVA (d.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.), 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.), N.P. PROROKOVA (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. G.G. SOKOVA (d.en.s., prof.), E.Ya. SURZHENKO (d.en.s., prof.), S.A. SYRBU (d.ch.s., prof.), M.N. TITOVA (d.ec.s., prof.), O.V. TOLOCHKO (d.en.s., prof.), A.V. TRUEVTSEV (d.en.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. TSIRKINA (d.en.s., prof.), Yu.S. SHUSTOV (d.en.s., prof.), S.S. YUKHIN (d.en.s., prof.).*

**International editorial board:**

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

**EDITORIAL COUNCIL**

*V.S. BELGORODSKY (d.soc.s., prof.), A.V. DEMIDOV (d.en.s., prof.),  
D.V. CHAYKOVSKY (c.philos.s., prof.)*

Executive secretary *E.N. KALININ*

*Address: 153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21.*

*Tel.: +7(4932)41-75-02.*

*E-mail: [ttp@ivgpu.ru](mailto:ttp@ivgpu.ru)*

*<http://ttp.ivgpu.ru>*

---

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796.  
Passed for typesetting on 27.11.2023. Signed for printing on 27.12.2023. Format 60×84 1/8.  
35.34 conventional sheets. Order 6234. 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.ru](mailto:ttp@ivgpu.ru)

Publishing-printing complex «PresSto»

153025, Ivanovo, Dzerzhinskogo, 39, building 8

Tel. 8-930-330-26-30

E-mail: [pressto@mail.ru](mailto:pressto@mail.ru)



УДК 685.34.082  
DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_5

**ПОЛУЧЕНИЕ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ  
В ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**OBTAINING OF RAW MATERIAL RESOURCES  
IN TEXTILE MATERIALS PROCESSING**

*Т.А. ФЕДОРОВА, А.Е. ГАВРИЛОВА*

*T.A. FEDOROVA, A.E. GAVRILOVA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: t.fedorova50@mail.ru

*Вопросы, связанные с конкурентоспособностью предприятия, устойчивостью, ограниченностью природных ресурсов, а также экологическими и социальными последствиями, приобретают в последнее время важное значение. В этой связи актуальным является переход к экономике замкнутого цикла, получению сырья из отходов производства и изделий, бывших в употреблении. Рассмотрены вопросы переработки отходов, определены основные сложности и направления развития данного сегмента. Приведены сведения о перспективном ассортименте изделий, изготавливаемых из вторичного сырья. Проанализированы подходы к формированию концепции экономики замкнутого цикла и препятствия, связанные с промышленной переработкой текстиля.*

*Textile products are present in all aspects of our life and are the driving force of a significant part of the global economy. Increasingly, issues related to enterprise competitiveness, sustainability, limited natural resources, as well as environmental and social consequences are being considered. In this context, the restoration and recycling of textile materials is essential. The purpose of this work is to present a material with possible chemical processing of textile materials and their reuse in the production of technical fabrics. We analyzed considerations on the concepts of the circular economy, correlated with their key factors and obstacles associated with the industrial processing of textiles.*

**Ключевые слова:** текстиль, переработка; повторное использование; экономика замкнутого цикла, устойчивость.

**Keywords:** textiles, recycling, reuse, circular economy, sustainability.

Мировой рынок текстиля сегодня – это индустрия стоимостью в триллион долларов, растущая вместе с ростом численности населения и повышением уровня жизни. Совокупный годовой темп роста отрасли (CAGR) – 4,4%, что по прогнозам составит 1230 млрд долларов США к 2024 году. Ключевыми конкурентами в этой отрасли являются Северная Америка, Латинская Америка, Европейский союз, Азиатско-Тихоокеанский регион и Китай, а также Ближний Восток и Африка, причем Китай является ведущим гигантом по производству и экспорту текстиля [5].

Текстильное волокно – это сырье, которое может быть преобразовано в пряжу, используемую в текстильных или промышленных изделиях. Годовое потребление текстильных волокон на одного человека имеет стабильный рост (табл. 1) [4].

Т а б л и ц а 1

Год	Потребление текстильных волокон одним человеком в год, кг
2012	13,0
2013	13,2
2016	26
2018	29
2020	35
2021	39

Ежегодно более 5000 млн тонн текстиля собирается на свалках страны, а могли бы пойти в производство в виде вторичного сырья. Использование каждого килограмма переработанных текстильных отходов поможет сократить выбросы углекислого газа на 3,6 кг и сэкономить 6 000 литров воды [4, 5].

В нынешних экономических условиях конкуренция за новые рынки становится все более жесткой, и восприятие потребителями экологически чистых и доступных продуктов быстро растет. Это заставляет производителей инвестировать в качество своей продукции и в ответственное обращение с отходами для обеспечения устойчивости компании.

В этом контексте утилизация и переработка текстиля становятся все более актуальными: сокращение площадей свалок,

объемов потребления воды и энергии приведут не только к снижению давления на природные ресурсы, но и к снижению затрат на производство. Сокращение природных ресурсов побудило многие страны искать способы повышения своей устойчивости к дефициту поставок промышленного сырья. В России в связи с отсутствием собственной сырьевой базы переработка отходов является одним из эффективных решений получения сырья.

Сегодня более 85% текстильных изделий на рынке – это изделия из смешанных волокон, которые сложно поддаются переработке. Цель состоит в том, чтобы утилизировать отходы таким образом, чтобы их можно было использовать вместо первичных волокон. Это технически достижимо для отдельных волокнистых отходов, но многослойный текстиль и отходы смешанных тканей усложняют утилизацию. Отдельные волокна могут быть извлечены с помощью механических процессов, а также плавления, растворения и других методов. Однако переработка смешанных текстильных отходов часто не дает желаемого результата, кроме того, механическое измельчение отходов приводит к образованию множества мелких волокон. Использование химических методов разволокнения не является устойчивым из-за чрезмерного использования невозобновляемых химикатов, высоких температур и нежелательных побочных реакций. Поэтому актуальна разработка новых методов разделения смешанных текстильных отходов [1].

Отходы из разных материалов можно рассматривать как низкоуглеродистое альтернативное сырье для строительного сектора, для производства геотекстиля [4].

Переработка отходов текстильных материалов из синтетических волокон состоит в их измельчении и подаче на специальный экструдер – гранулятор, где они расплавляются и очищаются от вспомогательных веществ, содержащихся в текстильном материале [7]. Благодаря специальной конструкции экструдера в него одновременно с отходами подается первичный полимерный материал, который смешивается с расплав-

ленными и очищенными отходами, что позволяет повысить свойства изготавливаемых гранул.

Другим нетрадиционным способом переработки отходов текстильных материалов из синтетических волокон является экстрагирование селективными растворителями полимерной части отходов, благодаря чему можно получать очищенный от всех примесей полимер. Технологический процесс регенерации синтетического полимера из текстильных отходов состоит из следующих стадий: измельчение отходов; растворение синтетических волокон; фильтрация раствора от нерастворимых примесей; высадка полимера из растворителя; сушка полимера; грануляция полимера.

Перспективными технологиями разволокнения текстильных отходов являются процессы, основанные на использовании ультразвука, водяного пара и сжатого воздуха, которые существенно облегчают и ускоряют отделение волокон друг от друга. При этом разволокнение отходов происходит в щадящих условиях: не разрушается структура волокна и не снижается его прочность.

Вторичные, или восстановленные, волокна – это сырье для текстильной промышленности. Их можно использовать как в «чистом» виде, так и в смеси с первичным волокнистым сырьем. Из восстановленного волокна получают аппаратную пряжу [3]. Кроме того, минуя стадию прядения, из вторичных волокон изготавливают нетканые текстильные материалы различного назначения, используемые, например, в производстве линолеума, геотекстильных материалов, фильтров с большой плотностью, гидро- и электроизоляционных материалов, технических войлоков, тепло- и звукоизоляционных материалов, одеял, упаковочных материалов, подкладочных материалов для мебели и обуви, напольных покрытий с плотностью холста 200-400 г/м<sup>2</sup>. При смешении восстановленного волокна с исходным первичным волокном получают сырье для производства высококачественной пряжи, идущей на производство всех видов текстильных материалов. Из него изготавливают и высококачественные нетканые мате-

риалы. Содержание вторичного волокна в смеси может достигать 80-90% в зависимости от назначения пряжи и материала [1].

Нетканые материалы, полученные из регенерированных волокон, обладают хорошими акустическими и механическими свойствами. Так, около 40 % всего вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) уходит на производство нетканых материалов и волокон. Волокна используются как утеплитель для спортивной и зимней одежды, спальных мешков и как наполнитель для мягких игрушек.

В Китае, признанном центре текстильной индустрии, также активно развиваются технологии переработки вторичного ПЭТ в волокно. Например, китайская компания Jiangyin Changlong Chemical Fiber Co., Ltd, активно продвигает технологии производства полиэфирного волокна из ПЭТ-отходов как на внутреннем, так и российском рынке.

Чрезвычайно интересным может быть применение «умных» изоляционных панелей STOREPET, особенно для зданий в регионах с большим шагом суточных температур [6]. Основой панелей является нетканый материал из вторичного ПЭТ, содержащий легкоплавкие (при 16-36 °С) парафины (от n-гексадеканов до n-эйкозанов) с удельной теплотой фазового перехода около 200 Дж/г. При высокой наружной температуре парафины расплавляются и прекрасно проводят тепло, а при понижении наружной температуры парафины застывают, скатываясь в сферы внутри нетканого материала, и панель становится изолятором, сберегая тепло, полученное ранее зданием [11].

В США и Западной Европе основная масса ПЭТ-бутылок расходуется на получение штапельных волокон и нетканых материалов. Это обусловлено тем, что в процессе вторичной переработки характеристическая вязкость бутылочных марок ПЭТ зачастую существенно снижается (с 0,8 до 0,65-0,72 дл/г), особенно при недостаточной сушке материала [4]. Для производства большинства видов текстильной продукции достаточна характеристическая вязкость расплава ПЭТ на уровне 0,61-0,65 дл/г. ПЭТ-волокно, формируемое из вторичного

ПЭТ, имеет механические свойства, удовлетворяющие условиям производства тканей для одежды, ковровых покрытий для жилых и офисных помещений, обивки для автомобилей и т. д. Волокнистые нетканые материалы, полученные из вторичного ПЭТ, можно использовать в качестве сорбента на очистных сооружениях, утеплителей или наполнителей, фильтрующих материалов и т. д. [14].

Геотекстильные материалы, изготовленные из регенерированных волокон, имеют плотность холста 250–850 г/м<sup>2</sup> и предназначены для фильтрации и стабилизации насыпаемого на них грунта [12]. Такие материалы используют при строительстве железных и автомобильных дорог, в борьбе с эрозией почвы, для укрепления берегов каналов, водохранилищ, пляжей, дамб, насыпей, при строительстве спортивных площадок, взлетно-посадочных полос аэродромов и для других целей. Срок службы материалов, изготовленных из синтетических волокон, – не менее 20 лет, поскольку такие волокна не подвержены гниению. Наиболее целесообразно применять полиэфирные и полипропиленовые волокна, полученные из отходов [13]. Использование вторичных текстильных волокон позволит уменьшить потребность в импорте первичного волокнистого сырья, удешевить производство и снизить цены на продукцию (матрацы, ватные одеяла, подушки и др.) на 30–50%, уменьшить загрязнение окружающей среды.

Современная промышленность располагает различными технологиями и оборудованием для переработки текстильных отходов. Окончательное решение о выборе того или иного способа переработки может быть принято после проведения технико-экономического анализа, позволяющего учесть все расходы, в том числе транспортные (на доставку отходов) и энергетические (на проведение процесса), а также наличие устойчивого спроса на продукцию из перерабатываемых отходов [9, 15].

Таким образом, разработка и реализация стратегии, предусматривающей переход от линейной экономики к экономике замкну-

того цикла, основанной на модели устойчивого развития, имеет ряд преимуществ [2] – от снижения воздействия на окружающую среду за счет сокращения использования сырья до создания рабочих мест, получения дополнительных сырьевых ресурсов и развития новых производств и технологий. При этом следует учесть, что по-прежнему существуют серьезные проблемы, связанные с химической и биологической безопасностью утилизации текстильных отходов. Эта отрасль только начинает развиваться, и нужны определенные усилия по ее развитию [3, 5].

Нужно предполагать, что ресурсы будут становиться все более дорогими и труднодоступными из-за увеличения числа правил, касающихся их происхождения, и экологических проблем, вызванных изменением климата. Повторно используя существующие материалы, компании могут уменьшить затраты на приобретение сырья. В текстильной промышленности экономика замкнутого цикла затрагивает всю производственную цепочку, т. е. один и тот же продукт и/или его составляющие могут многократно возвращаться в производственную цепочку, увеличивая получение дохода [2]. Создание безотходных производств требует решения целого ряда организационных, технических, технологических, экономических, психологических и других задач. Для этого при разработке и внедрении проектов новых предприятий должны быть учтены следующие взаимосвязанные принципы [10]:

1. Исключение образования любых видов отходов при разработке и внедрении новых технологических процессов.

2. Системность. Каждый отдельный процесс рассматривается как элемент динамичной системы – всего промышленного производства в регионе. Принцип системности должен учитывать взаимосвязь и взаимозависимость производственных, социальных и природных процессов.

3. Создание территориально-промышленных комплексов, в которых реализована замкнутая система материальных потоков сырья и отходов.

4. Комплексное и рациональное использование сырья, а также разработка и выпуск новых видов продукции с учетом возможности повторного ее использования.

5. Ограничение воздействия производства на окружающую природную и социальную среду, охрана атмосферного воздуха, воды, почвы, рекреационных ресурсов, здоровья населения. Реализация этого принципа осуществима лишь в сочетании с эффективным мониторингом, развитым экологическим нормированием и качественным многозвенным управлением природопользованием.

6. Широкое применение отходов в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов.

7. Рациональность организации производства, т.е. его оптимизация по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам, для чего необходима разработка новых и усовершенствование существующих технологических процессов.

Для решения этих задач необходимо создание координирующего органа по технической политике в области обращения с отходами, обладающего следующими полномочиями:

– определять виды отходов, имеющих особое значение как сырьевые ресурсы, а также вызывающих наибольшее загрязнение окружающей среды;

– создавать материально-техническую базу научных и производственных организаций и предприятий, деятельность которых связана с обращением с отходами;

– определять источники финансирования научных исследований (федеральный и региональный бюджеты, экологические фонды, отечественные коммерческие структуры, зарубежные инвестиции и др.); при этом следует иметь в виду, что финансироваться должны не только проекты по переработке отходов, но и программы, предотвращающие их образование;

– разрабатывать системы финансовых и налоговых льгот для предприятий и организаций, осуществляющих научные исследования и разработки в области обращения с отходами;

– решать вопросы предотвращения образования отходов, совершенствования экономического, правового, нормативно-методического механизмов управления отходами, информационного обеспечения всех видов деятельности в области обращения с отходами [16].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свищева Е.Г., Генералова А.В., Седяров О.И. Экономика замкнутого цикла в текстильной и легкой промышленности // Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика: материалы докладов международной науч.-практ. конф. Витебск, 2016. С. 89...93.

2. Гизеллини П., Сиалани С. & Ульгиати С. Обзор экономики замкнутого цикла: ожидаемый переход к сбалансированному взаимодействию экологических и экономических систем // Журнал чистого производства. 2016. 114. С. 11...32.

3. Гейсдёрфер М., Савагет П., Вокен Н.М., Халтинк Э.Я. Циркулярная экономика – новая парадигма устойчивости? // Журнал чистого производства. 2017. 143. С. 757...768.

4. [www.ecotece.org.br](http://www.ecotece.org.br)

5. Allwood J.M. Квадратная экономика замкнутого цикла: справочник по переработке. 2014. С. 445...477. – DOI: 10.1016/b978-0-12-396459-5.00030-1.

6. Лебедева Н.Ш., Недайводин Е.Г., Акулова М.В. Применение органических волокнистых наполнителей в производстве строительных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1. № 1 (385). С. 129...134.

7. Хосровян И.Г., Тувин М.А., Хосровян Г.А., Тувин А.А., Роньжин В.И. Результаты математического моделирования процесса столкновения волокнистого комплекса с колком разрыхлителя-очистителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 136...139.

8. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 263...265.

9. Баишков А.П., Баишкова Г.В., Байджанова С.Б. Прогнозирование вибро- и звукопоглощающей способности текстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 3 (339). С. 125...129.

10. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. М.: Известия, 2011. С. 298.

11. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. С. 220.

12. *Рассолов И.Д., Сергиенков А.П.* Нетканый материал с повышенными функциональными свойствами // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016). Иваново: ИВГПУ, 2016. С. 138...139.

13. *Трещалин Ю.М.* Критерии и критериальные уравнения для анализа свойств и прогнозирования характеристик нетканых материалов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018) // Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 21...22.

14. *Гречевский Г.Е.* Зеленые технологии, зеленая химия, зеленые нанотехнологии, зеленый текстиль – основы устойчивого развития // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018) // Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 45...46.

15. *Коломейцева Э.А., Мoryганов А.П.* Инновационные термостойкие огнебиозащищенные технические ткани и нетканые материалы // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018) // Иваново: ИВГПУ, 2019. С. 20...27.

16. *Федорова Т.А., Шинкевич А.И., Кудрявцева С.С.* Текущее состояние и перспективы развития легкой промышленности в Республике Татарстан: монография. Казань, 2017. С. 41...46.

#### REFERENCES

1. *Svishcheva E.G., Generalova A.V., Sedlyarov O.I.* Circular economy in the textile and manufacturing industry // Processing of raw materials of the textile and manufacturing industry: theory and practice: materials of the reports of the international scientific and practical conference. Vitebsk, 2016. P. 89...93.

2. *Ghisellini P., Cialani C. and Ulgiati S.* A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems // J. Clean. Prod. 2016, 114, 11–32. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

3. *Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M., Hultink E. J.* The circular economy—a new sustainability paradigm? // J. Clean. Prod. 2017, 143, p. 757...768. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048

4. [www.ecotece.org.br](http://www.ecotece.org.br)

5. *Allwood J.M.* Square Circular Economy. Recycling Handbook, 2014, pp. 445...477.

6. *Lebedeva S.H., Nedayvodin E.G., Akulova M.V.* Application of organic fibrous fillers in the production of building materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. № 1 (385). P. 129...134.

7. *Hosrovyan I.G., Tuvin M.A., Hosrovyan G.A., Tuvin A.A., Ronzhin V.I.* The results of mathematical modeling of the collision process of a fibrous complex with a baking powder-cleaner spike // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016, No. 6 (366). P. 136...139.

8. *Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vlinogradova N.V., Fedoseev V.N.* Ecological and energy-saving technologies in textile and light industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. No. 6 (366). P. 263...265.

9. *Bashkov A.P., Bashkova G.V., Bayazhakova S.B.* Forecasting of vibration and sound-absorbing ability of textile fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 3 (339). P. 125...129.

10. *Krichevsky G.E.* Chemical technology of textile materials. Moscow: Izvestia Publishing House, 2011. P. 298.

11. *Treshchalin Y.M.* Composite materials based on nonwoven fabrics. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2015. P. 220.

12. *Rassolov I.D., Sergienkov A.P.* Nonwoven fabric with enhanced functional properties // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2016). Иваново: ИВГПУ, 2016. P. 138...139.

13. *Treshchalin Yu.M.* Criteria and criteria equations for analyzing the properties and predicting the characteristics of nonwovens // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2018). Иваново: ИВГПУ, 2018. P. 21...22.

14. *Grechevsky G.E.* Green technologies, green chemistry, green nanotechnology, green textiles – fundamentals of sustainable development // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2018). Иваново: ИВГПУ, 2018. P. 45...46.

15. *Kolomeitseva E.A., Moryganov A.P.* Innovative heat-resistant fire-proof technical fabrics and non-woven materials // Physics of fiber materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2019). Иваново: ИВГПУ, 2019. P. 20...27.

16. *Fedorova T.A., Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S.* Current state and prospects of development of light industry in the Republic of Tatarstan: monograph. Kazan, 2017. P. 41...46.

Рекомендована кафедрой медицинской инженерии Казанского национального исследовательского технологического университета. Поступила 06.04.23.

## ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ РЕАЛИСТИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ ОДЕЖДЫ

### PROBLEMS OF VIRTUAL FABRICS GENERATING FOR REALISTIC DIGITAL CLOTHING

*В.Е. КУЗЬМИЧЕВ<sup>1</sup>, Е.В. РУМЯНЦЕВ<sup>1</sup>, В.М. БУЗНИК<sup>2</sup>*

*V.E. KUZMICHEV<sup>1</sup>, E.V. RUMYANTSEV<sup>1</sup>, V.M. BUZNIK<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,*

*<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук)*

*(Ivanovo State Polytechnic University,*

*<sup>2</sup>Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences)*

E-mail: wkd37@list.ru

*Рассмотрены два направления в проектировании виртуальных двойников текстильных материалов: для получения необходимой объемно-пространственной формы одежды и достижения эстетического эффекта в статических условиях (3D симуляция) и для обеспечения нейропсихологического комфорта в динамических условиях (4D симуляция). Показано, что существующие 3D САПР достаточно полно воспроизводят поведение виртуальных тканей в пространстве с помощью набора из единичных показателей физико-механических свойств. Для 4D проектирования необходимы показатели свойств текстильных материалов, измеренные в условиях непосредственного контакта с участками фигур. Такая база данных, формализующая обратную реакцию человека на воздействие текстильных материалов, составит основу проектирования дружественной человеку комфортной одежды.*

*Two directions in virtual twins of textile materials designing are considered: firstly, to obtain the necessary three-dimensional shape of clothing and to achieve an aesthetic effect in static (3D simulation) and secondly, to provide neuropsychological comfort in dynamic (4D simulation). It is shown that existing 3D CAD systems sufficiently reproduce the behaviour of virtual textiles using a set of single indicators of physical and mechanical properties. For 4D design, indicators of textile materials properties, measured under conditions of direct contact with areas of the figures, are required. Such a database, which formalizes a person's feedback on the impact of textile materials, will form the basis for designing comfortable, human-friendly clothing.*

**Ключевые слова:** текстильный материал, одежда, виртуальный двойник, свойства, 3D, 4D.

**Keywords:** textile material, clothing, virtual twin, properties, 3D, 4D.

Трехмерная симуляция цифровой одежды включает использование сразу нескольких виртуальных двойников мягкотельных объектов: человеческой фигуры,

текстильных материалов и плоских разверток деталей, из которых будет состоять одежда, а также некоторых твердотельных аксессуаров типа пуговиц, молний и др.

Современные системы 3D проектирования одежды предлагают примерно одинаковые сценарии генерирования систем «аватар фигуры - одежда» с различной степенью реалистичности и адекватности материальным системам [1]. В зависимости от областей применения эти системы ориентированы на разные ситуации:

- поисковое дизайн-проектирование несуществующей одежды (т.н. цифровая одежда);

- презентация созданной одежды (перевод реально существующей одежды в виртуальную форму);

- стилизованная условная одежда для индустрии игр.

К этим виртуальным объектам предъявляют разные требования.

Процессы развития систем 3D проектирования активизируются под влиянием нескольких факторов, основными из которых являются: кастомизация (потребность в одежде индивидуального дизайна с качественной посадкой на фигуре), потребность проведения примерок перед онлайн-покупкой, а также развитие компьютерных игр. Во всех случаях необходимо генерирование сначала цифровых, а затем на их основе виртуальных двойников текстильных материалов как важного элемента будущей системы. Данный процесс является одним из самых сложных ввиду структурной неоднородности исходного текстильного материала, анизотропии свойств и разнообразия вариантов его поведения во время перехода из плоского состояния в объемное. Ткань на поверхности человеческой фигуры приобретает сложную объемно-пространственную форму под влиянием целого комплекса физико-механических свойств и действия гравитации. Результирующая форма может включать несколько зон:

- 1) зона, повторяющая пластику фигуру и находящаяся на ее опорной поверхности. Для формообразования в этой зоне используют разные виды виртуальных двойников человеческих фигур (сканатары, аватары типовых фигур или стилизованные);

- 2) зона, повторяющая принудительно измененную пластику фигуры под влия-

нием компрессионной одежды;

- 3) зона свободного формообразования, лежащая ниже опорной поверхности, в которой форма одежды не зависит от пластики и морфологии фигуры.

Чтобы воспроизвести поведение одежды из конкретной ткани в виртуальной среде, помимо характеристик исходной ткани, необходимы характеристики новых образований, которые возникают в местах соединения деталей (например, жесткость швов) или их усиления дополнительными слоями (например, формуемость и формоустойчивость).

Целью данной статьи является анализ нынешнего состояния научных и прикладных исследований в области генерирования цифровых двойников тканей и трикотажных полотен и определение направления их совершенствования на основе комплексных исследований, выполненных на кафедре конструирования

*Современное состояние получения виртуальных двойников тканей в 3D среде*

Нынешние требования к виртуальному двойнику текстильного материала включают следующий перечень характеристик, которые должны быть аналогичны характеристикам материальных прототипов: колористическое оформление; фактура поверхности, включая переплетение; внешний вид в момент драпирования на поверхности шара (самый распространенный прием визуального представления материальной и виртуальной ткани). Для воспроизведения первых двух характеристик, относящихся к внешнему виду ткани, используют системы сканирования с последующей обработкой визуальных изображений средствами компьютерной графики [2, 3].

Наиболее сложным является процесс воспроизведения пространственного поведения реальной ткани. Формообразование реальной одежды происходит под влиянием сразу нескольких факторов, набор которых зависит от формы и структуры одежды. В реальных процессах конструирования и технологии изготовления учитывают следующие единичные показатели



геометрических, физико-механических и структурных свойств:

- при разработке объемно-пространственной формы одежды:

- 1) драпируемость,
- 2) жесткость при изгибе;

- при разработке формы и размеров плоских деталей, из которых состоит одежда:

3) растяжимость при одноосном нагружении (выделены три группы материалов по растяжимости, влияющие на конструкцию деталей) [4],

4) изменение угла между нитями основы и утка или петельными столбиками под действием сдвигающих нагрузок,

5) толщина,

6) изменение линейных размеров после тепловых обработок.

Существуют и другие показатели, учитываемые при раскрое, изготовлении одежды и соединении отдельных деталей друг с другом, которые не входят в перечень этой номенклатуры, но могут отражать специфику перерабатываемых тканей (например, перекос нитей утка, наличие линейно-графического орнамента и др.). Все перечисленные показатели не взаимосвязаны между собой, а их правильный учет при разработке формы одежды и деталей требует определенной квалификации визуализатора одежды.

В международном стандарте ISO 20947-2:2020(E) обозначены следующие показатели физических свойств текстильных материалов, которые контролируют при их симуляции: растяжимость, жесткость при изгибе, сопротивление сдвигу, толщина, поверхностная плотность [5]. Косвенное влияние перечисленных свойств также учитывают при оценке виртуальной системы «аватар-одежда» по следующим показателям: растяжение одежды на отдельных участках, воздушный зазор между аватаром и одеждой, наличие складок.

Существующие подходы к симуляции пространственной формы текстильных материалов в виртуальной среде можно разделить на три группы: геометрический (моделирование оболочки на основе гео-

метрических примитивов), физический (моделирующий текстильный материал как комбинацию огромного числа тонких силовых элементов с определенной энергией на основе метода конечных элементов [6-9], конечных объемных моделей [10], частичных системных моделей [11-12]) и гибридный. Частичная системная модель является простейшим и эффективным подходом к симуляции тканей как набора вершин полигональной сети в случаях больших перемещений и небольших деформаций.

Воспроизведение поведения ткани в зоне свободного формообразования в виртуальной среде должно базироваться на комплексном учете множества характеристик, которые должны быть установлены, должны влиять на конечный результат, быть параметризованы и включены в математическую модель формообразования.

Наибольшее количество исследований посвящено именно самому важному и визуально воспринимаемому показателю – драпируемости текстильных материалов под действием гравитации [13]. Поведению виртуальных тканей предшествуют экспериментальные исследования с материальными пробами. В [14] было проведено сравнение двух оценок драпируемости – коэффициента драпируемости и числа возникающих складок – непосредственно на приборе Cusick и косвенно путем расчета по показателям растяжимости, изгиба и сдвига в программной среде Optitex. На рис. 1 показаны фотографии реальных и виртуальных драпированных проб из тканей разного состава: а – 85 % лен, 15 % полиамид, б – 98 % хлопок, 2 % эластан).

Установлено, что виртуальная симуляция не полностью соответствует реальной драпируемости из-за игнорирования изменений на микроуровне волокон. Хотя разность в количестве складок составляет всего 7,2 %, а коэффициент драпируемости 6,3 %, глубина складок и их распределение отличаются довольно сильно, что визуально воспринимается как нереалистичное моделирование.

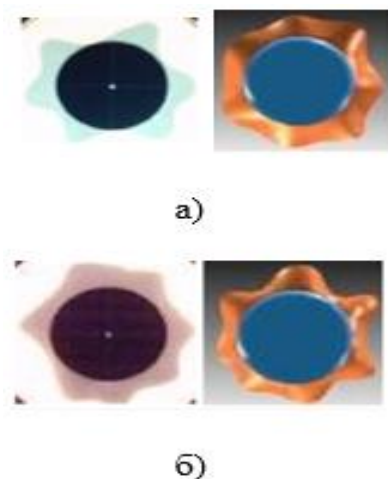


Рис. 1

Изменение формы поверхности плоской детали является результатом проявления показателей физико-механических свойств. Для их параметризации используют разные измерительные комплексы.

Самым распространенным и научно обоснованным является измерительный комплекс KES-F (Kawabata's Evaluation System for Fabrics) (Япония). Ввиду его распространенности во всем мире и широкого применения с 1988 года сформирована огромная база данных практически обо всех видах материалов, поэтому его использование является разумным и оправданным [3]. Единственным осложняющим фактором является высокая стоимость и необходимость проведения проверок только сертифицированными специалистами.

Альтернативой японской системе является система экспресс-измерения аналогичных показателей физико-механических свойств FAST (Fabric Assurance by Simple Testing).

Разработчики трехмерных САПР, предвидя эти сложности, предлагают свои методы измерения единичных показателей с помощью более простых комплексов. САПР CLO работает вместе с инструментальным комплексом KIT для экспресс-метода измерения единичных показателей. На рис. 2 показано окно модуля выбора показателей свойств тканей в программе CLO 3D (версия 5.0.156.38765, CLO Virtual Fashion, Корея).

После изменения значений единичных показателей (рис. 1) можно добиться их соответствия параметрам реальной ткани, ко-

торая предварительно должна быть испытана или на комплексе KIT, являющемся приложением к программе CLO 3D, или на комплексе Кавабата. Все показатели физико-механических свойств соответствуют стандартизированным схемам измерений или имеют аналоги в международной системе ASTM.



Рис. 2

САПР VIDYA (Германия) предлагает использовать не инструментальные экспресс-методы для определения комплекса показателей. Экспресс-методы достаточно просты, не требуют специальных приборов и моделируют особенности процесса формообразования одежды и образования складок. На рис. 3 показаны схемы испытания некоторых показателей, которые в дальнейшем используют для получения виртуального двойника (а – измерение компрессии скорости возникновения складок на поверхности, б – измерение способности к изгибу и прогнозирование размеров складок).

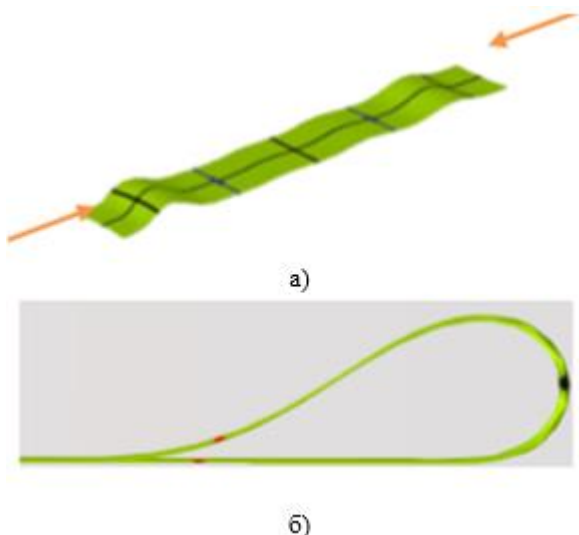


Рис. 3

В каждой САПР заложены свои алгоритмы цифровой модели ткани и ее применения в виртуальном двойнике, которые могут отличаться конечной формой виртуальной модели одежды.

В качестве примера рассмотрим внешний вид одного и того же комбинезона, сгенерированного в САПР Browzwear [16], Style 3D [17] и CLO [18]. Для получения виртуального комбинезона использована общая исходная информация: структура и конструкция изделия, ткань (85 % полиэстер, 15 % эластан, поверхностная плотность 112 г/м<sup>2</sup>, коэффициент трения 0,2, толщина 0,23 мм). Испытание ткани проводили с помощью разных измерительных комплексов Browzwear, SEDDI и VIZOO. Измеряли следующие показатели: поверхностную плотность (mass), фрикционные характеристики (friction), толщину (thickness), жесткость при изгибе (bend), растяжимость (stretch), линейность растяжения (stretchlinearity), усилие сдвига (shear) и линейность сдвига (shearlinearity). Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	Значение показателя, измеренное с помощью измерительного комплекса			Вариация, %
	Browzwear	SEDDI	VIZOO	
Жесткость по основе, сН/см	35,1	37,6	28,7	26
Жесткость по утку, сН/см	43,1	44,5	33,8	26
Растяжимость по основе, %	214,6	1383,4	173,6	198
Растяжимость по утку, %	327,8	2157,3	303,1	197
Усилие сдвига, сН/град	31,2	65,8	28,8	88

На рис. 4 показаны результаты моделирования: а – внешний вид драпированной

ткани; б – виртуальные комбинезоны, сгенерированные в САПР Browzwear, Style 3D, CLO; в – боковые контуры.



Рис. 4

Как видно из приведенного примера, все показатели относятся к группе физико-механических свойств. Очевидно, что используемые разные схемы испытаний приводят к получению разных показателей одних и тех же свойств: вариация значений достигает 198 %. Несмотря на кажущееся сходство виртуальных моделей (рис. 4, б) необходимо констатировать наличие явных различий между виртуальными двойниками. В силуэтах брюк не везде сохраняется горизонтальность линии низа и форма бокового контура (рис. 4, в). Форма бокового контура зависит от глубины складок, а их расположение, глубина, длина и количество также имеют отличия. Верхние части комбинезонов несколько отличаются в области талиевых складок. Расхождения вызваны многослойностью в местах расположения складок.

В целом для получения статичной виртуальной одежды разработанные алгоритмы получения виртуальных двойников тканей на основе совокупности показателей физико-механических свойств обеспечивают пока удовлетворительные результаты в условиях поискового дизайн-проектирования.

*Проблемы получения виртуальных двойников в среде 4D*

Ощущение комфорта в процессе ношения одежды зависит от ее конструктивного устройства и свойств применяемых материалов, проявляющихся в одежде именно под влиянием конструктивных решений. В конструировании степень учета свойств материала (например, растяжимости, драпируемости, способности повторять или изменять пластику поверхности фигуры и др.) зависит от опыта проектировщика.

Развитие искусственного интеллекта делает реалистичными алгоритмы решения некоторых задач без участия человека, которые ранее казались недостижимыми. Развитие так называемого гуманистического (*human friendly*) дизайна одежды ставит задачу наделения аватара способностью реагировать на те раздражения, которые может вызвать одежда [19]. Нейропсихологическая реакция человека на внешние раздражения может иметь разные причины: несоответствие одежды отдельным участкам фигуры, которая может ощущаться при вы-

полнении движений; тактильный контакт поверхности ткани с кожными рецепторами, чрезмерное давление одежды на кожные покровы. Эти реакции преимущественно возникают в зонах одежды, повторяющих пластику фигуру и находящихся на ее опорной поверхности или в зоне принудительного изменения пластики фигуры.

Характеризуя эти обратные нейропсихологические реакции, заметим, что они должны быть учтены на новом этапе развития виртуального проектирования. Такие требования возникают именно в среде 4D, которая предполагает учет реакции на динамические изменения в системе «аватар-одежда». Для развития 4D моделирования необходимы не твердотельные аватары, а мягкотельные манекены, имитирующие реакцию реальных людей на внешние раздражения. Образы таких манекенов для воспроизведения динамических эффектов в системе 4D показаны на рис. 5: а – динамический аватар во время сгибания конечностей и растяжения кожных покровов, б – перемещение мягких тканей под влиянием компрессионной одежды.



Рис.5

Повышение уровня проектирования до 4D столкнется с необходимостью моделирования более сложных динамических деформаций тканей. Основным отличием 4D проектирования от 3D является обязательное наличие формализованной обратной связи от человека после воздействия одежды. Очевидно, что существующие схемы испытаний тканей с помощью инструментов не



позволят сформировать весь объем необходимой информации. На помощь должен прийти сенсорный анализ взаимодействия одежды и человека и описание его результатов в виде формализованных зависимостей с использованием новых показателей.

Для реализации дружественного человеку дизайна необходимо будет измерять показатели свойств текстильных материалов непосредственно на участках фигур, с которыми будет контактировать одежда. Однако такая база данных в виде новых методик измерения, критериев для оценки показателей и формулирования выводов, формализованных зависимостей между показателями свойств текстильных материалов и нейропсихологическими реакциями человека еще не сформирована. Без такой базы, основанной на качественно иной технологии измерения показателей свойств тканей, невозможно качественное и реалистичное виртуальное проектирование трехмерных систем «фигура-одежда».

Отметим наиболее важные результаты, достигнутые в направлении исследований текстильных материалов и реакции на них реальных людей.

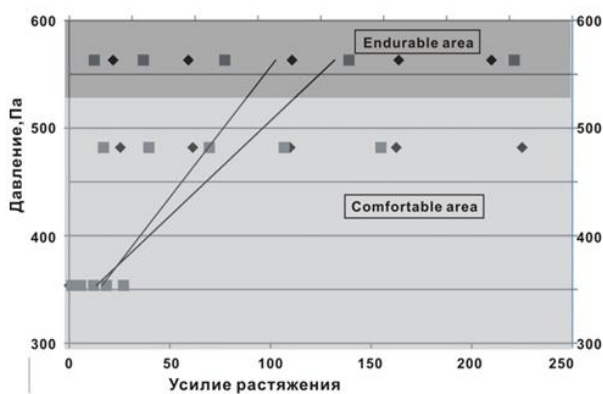


Рис. 6

На рис. 6 показаны совмещенные зависимости, полученные при параллельных испытаниях проб ткани на растяжение «нагрузка-удлинение» и измерении давления на фигуру женских платьев с разной степенью объемности. На рис. 6 область между прямыми показывает разброс значений [20]. С увеличением усилия растяжения ткани на участке, на котором она

плотно облегает фигуру, возрастает давление: вначале давление воспринимается как комфортное (comfortable area), а потом как непереносимое (endurable area).

Очевидно, что этот простой пример показывает ограничения в растяжении ткани в одежде с позиций не ее внешнего вида, а реакции человека и подтверждает необходимость контроля деформации тканей именно на основе реакции человеческого тела.

Подобный подход использован для обоснования выбора трикотажных материалов для компрессионной одежды [8]. Предложен новый показатель – коэффициент компрессии  $CP$ , который вычисляют после измерения на поверхности человеческого тела давления под растянутой текстильной оболочкой. Коэффициент компрессии отражает способность материала создавать компрессионное давление на виртуальный двойник фигуры. Новый показатель характеризует отношения между максимальным удлинением трикотажных материалов (%) и давлением сжатия (кПа). На основе этого показателя все трикотажные материалы разделены между четырьмя уровнями:

- 1) очень высокий уровень компрессии  $CP \geq 0,12$ ;
- 2) высокий уровень компрессии  $0,09 \leq CP < 0,12$ ;
- 3) средний уровень компрессии  $0,06 \leq CP < 0,09$ ;
- 4) низкий уровень компрессии  $CP \leq 0,06$ .

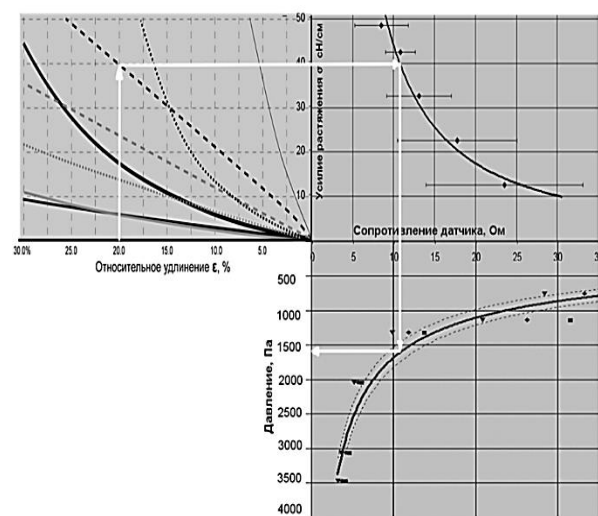


Рис. 7

На рис. 7 показана зависимость, объединяющая изменение растяжения трикотажных полотен под влиянием приложенной нагрузки с их способностью создавать давление на мягкие ткани человека. Графики согласуют синхронное растяжение трикотажных материалов и создаваемое ими компрессионное давление на кожные покровы. Датчик располагался между телом и трикотажным материалом, и с его помощью проводили измерения разных физических величин – силы и давления [21].

Эти два примера показывают, что моделирование воздействий текстильных материалов в виртуальной среде должно учитывать физиологические особенности, которыми должен быть наделен виртуальный манекен (аватар):

реагировать на гриф и туше материала (испытывать ощущение тепла или холода при соприкосновении с текстильным материалом);

испытывать сопротивление при выполнении основных эргономических движений;

реагировать на компрессионное давление, в том числе в зонах, в которых повышенное давление недопустимо (шея, грудные железы, паховая область, икра);

реагировать на избыточную массу одежды.

На основе перечисленных обратных реакций могут быть внесены конструктивные изменения в виртуальную одежду. Такие нейropsихологические данные должны дополнить существующие базы данных, рассмотренные в первой части статьи, и составить новое информационное обеспечение 4D проектирования. Изучение воздействия текстильных материалов на кожные покровы должно стать новым этапом развития технологий виртуального проектирования и наполнения его уже не только эстетическим, но и гуманистическим содержанием.

1. Существующая номенклатура показателей физико-механических свойств тканей достаточна для проектирования статичной виртуальной одежды в среде 3D.

2. Переход от 3D к 4D виртуальному проектированию динамических систем «фигура-одежда» потребует разработки новых методов испытаний тканей, деформации которых должны быть согласованы с эргономическими позами, динамическими приростами к размерным признакам фигуры и обратной нейropsихологической реакцией человека на внешние раздражения, возникающие между телом и тканью.

3. 4D виртуальное проектирование с реализацией концепции «гуманистический дизайн» потребует проведения комплексных испытаний с использованием инструментальных методов и сенсорного анализа для формирования новой базы данных об особенностях взаимодействия в системе «человек-одежда» и ее включения в модули для выбора виртуальных текстильных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Kuzmichev V., Yan J.* The Application of Digital Twins in the Field of Fashion. In: Lv, Z., Fersman, E. (eds) *Digital Twins: Basics and Applications*. Springer, Cham. 2022. Pp. 45...57.
2. *Moskvin A.YU., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.* Digital twins of textile materials for visualization of historical costumes // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022. №2(398). P. 86...93.
3. *Liu K., Zhou S., Chun Zhu, Lü Z.* Virtual simulation of Yue Opera costumes and fashion design based on Yue Opera elements // *Fashion and Textiles*, 2022. – <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00300-0>
4. *Digital Manufacturing Technology for Sustainable Anthropometric Apparel*: Edited by Norsaadah Zakaria, The Textile Institute Book Series. Elsevier, Woodhead Publishing, 2022, pp. 40...41.

5. ISO 20947-2:2020(E). Performance evaluation protocol for digital fitting systems. Part 2: Virtual garment.
6. *Jevšnik S., Geršak J.* Modelling a fused panel for a numerical simulation of drape // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2004, 1, pp. 47...52.
7. *Chen B., Govindaraj M.* A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory // *Textile Research Journal*, 1995, 6, pp. 324...330.
8. *Collier J.R., Collier B.J., O'Toole G., Sargand S.M.* Drape Prediction by Means of Finite-element Analysis // *Journal of The Textile Institute*, 1991, 1, pp. 96...107.
9. *Ascough J., Bez H.E., Bricis A.M.* A Simple Beam Element, Large Displacement Model for the Finite Element Simulation of Cloth Drape // *Journal of the Textile Institute*, 1996, 1, pp. 152...165.
10. *Hu J., Chen S.* Numerical Drape Behavior of Circular Fabric Sheets Over Circular Pedestals // *Textile Research Journal*, 2000, 7, pp. 593...603.
11. *Breen D. E., House D. H. & Wozny M. J.* A Particle-Based Model for Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth // *Textile Research Journal*, 1994, 11, pp. 663...685.
12. *Provot X.* Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior: In proceeding *Graphics Interface*, 1995, pp. 147...154.
13. *Ji F., Li R., Qiu Y.* Three-dimensional Garment Simulation Based on a Mass-Spring System // *Textile Research Journal*, 2006, 1, pp. 12...17.
14. *Jevšnik S., Pilar T., Drujic D. etc.* The study of fabric drape behavior in the virtual environment // *The International Istanbul Textile Congress*. 2013, Istanbul, Turkey.
15. Kawabata evaluation system: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kawabata\\_evaluation\\_system/](https://en.wikipedia.org/wiki/Kawabata_evaluation_system/) (дата обращения: 22.10.2023)
16. Browzwear: <https://browzwear.com/> (дата обращения: 22.10.2023)
17. Style 3D: [www.style3d.com](http://www.style3d.com) (дата обращения: 22.10.2023).
18. CLO: [www.clo3d.com](http://www.clo3d.com) (дата обращения: 22.10.2023).
19. *Guo M.N., Kuzmichev V.E.* Pressure and comfort perception in the system "female body-dress" // *AUTEX research journal*, 2013, 13(3), pp. 71...78.
20. *Kuzmichev V., Cheng Z., Adolphe D.C.* Development of knitted materials selection for compression underwear // *AUTEX Research Journal*, 2017, vol.17, No.2, p. 177...187.
21. *Kuzmichev V., Tislenko I., Adolphe D.* Virtual design of knitted compression garments based on bodyscanning technology and the three-dimensional to-two-dimensional approach // *Textile Research Journal*, 2018. – <https://doi.org/10.1177/0040517518792722>
1. *Kuzmichev V., Yan J.* The Application of Digital Twins in the Field of Fashion. In: *Lv, Z., Fersman, E. (eds) Digital Twins: Basics and Applications.* – Springer, Cham. 2022. C. 45...57.
2. *Moskvin A.* Digital twins of textile materials for visualization of historical costumes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, №2(398). P. 86...93.
3. *Liu K, Zhou S., Chun Zhu, Lü Z.* Virtual simulation of Yue Opera costumes and fashion design based on Yue Opera elements // *Fashion and Textiles*, 2022, <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00300-0>
4. *Digital Manufacturing Technology for Sustainable Anthropometric Apparel: Edited by Norsaadah Zakaria, The Textile Institute Book Series.* -Elsevier, Woodhead Publishing, 2022, pp. 40...41.
5. ISO 20947-2:2020(E). Performance evaluation protocol for digital fitting systems. Part 2: Virtual garment.
6. *Jevšnik S., Geršak J.* Modelling a fused panel for a numerical simulation of drape // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2004, 1, pp. 47...52.
7. *Chen B., Govindaraj M.* A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory // *Textile Research Journal*, 1995, 6, pp. 324...330.
8. *Collier J.R., Collier B.J., O'Toole G., Sargand S.M.* Drape Prediction by Means of Finite-element Analysis // *Journal of The Textile Institute*, 1991, 1, pp. 96...107.
9. *Ascough J., Bez H. E., Bricis A.M.* A Simple Beam Element, Large Displacement Model for the Finite Element Simulation of Cloth Drape // *Journal of the Textile Institute*, 1996, 1, pp. 152...165.
10. *Hu J., Chen S.* Numerical Drape Behavior of Circular Fabric Sheets Over Circular Pedestals // *Textile Research Journal*, 2000, 7, pp. 593...603.
11. *Breen D.E., House D.H. & Wozny M.J.* A Particle-Based Model for Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth // *Textile Research Journal*, 1994, 11, pp. 663...685.
12. *Provot X.* Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior: In proceeding *Graphics Interface*, 1995, pp. 147...154.
13. *Ji F., Li R., Qiu Y.* Three-dimensional Garment Simulation Based on a Mass-Spring System // *Textile Research Journal*, 2006, 1, pp. 12...17.
14. *Jevšnik S., Pilar T., Drujic D. etc.* The study of fabric drape behavior in the virtual environment // *The International Istanbul Textile Congress*. 2013, Istanbul, Turkey.
15. Kawabata evaluation system: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kawabata\\_evaluation\\_system/](https://en.wikipedia.org/wiki/Kawabata_evaluation_system/) (дата обращения: 22.10.2023)

16. Browzwear: <https://browzwear.com/>(дата обращения: 22.10.2023)

17. Style 3D: [www.style3d.com](http://www.style3d.com) (дата обращения: 22.10.2023).

18. CLO: [www.clo3d.com](http://www.clo3d.com) (дата обращения: 22.10.2023).

19. *Guo M.N., Kuzmichev V.E.* Pressure and comfort perception in the system “female body–dress” // AUTEX research journal, 2013, 13(3), pp.71...78.

20. *Kuzmichev V., Cheng Z., Adolphe D.C.* Development of knitted materials selection for compression

underwear // AUTEX Research Journal, 2017, vol.17, No.2, p.177...187.

21. *Kuzmichev V., Tislenko I., Adolphe D.* Virtual design of knitted compression garments based on bodyscanning technology and the three-dimensional to-two-dimensional approach // Textile Research Journal, 2018. –

<https://doi.org/10.1177/0040517518792722>

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 27.10.23.



УДК 687.015

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_21

**ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОГО МАРКЕТИНГА  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА**

**INFLUENCE OF INNOVATIVE MARKETING ON PRODUCTION EFFICIENCY**

Ф.С. МЕХТИЕВ<sup>1</sup>, Х.Ф. МАМЕДОВА<sup>2</sup>, Б.М. ГАСАНОВ<sup>2</sup>, Ф.А. МАМЕДОВ<sup>2</sup>, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ<sup>3,4</sup>  
F.S. MEHTIYEV<sup>1</sup>, H.F. MAMMADOVA<sup>2</sup>, B.M. HASANOV<sup>2</sup>, F.A. MAMEDOV<sup>2</sup>, S.SH. TASHPULATOV<sup>3,4</sup>

(<sup>1</sup>Азербайджанский государственный аграрный университет,  
<sup>2</sup>Азербайджанский технологический университет,  
<sup>3</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
<sup>4</sup>Джизакский политехнический институт)

(<sup>1</sup>Azerbaijan State Agrarian University,  
<sup>2</sup>Azerbaijan Technological University,  
<sup>3</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry,  
<sup>4</sup>Jizzakh Polytechnic Institute)

E-mail: fizuli.ekonomist@gmail.com, ssht61@mail.ru

*Работа посвящена вопросам влияния инновационной деятельности на эффективность производства. Инновация – это сумма определенных усилий, направленных на разработку и исследование идеи, ее воплощение и коммерциализацию на рынке. Инновации приводят к повышению конкурентоспособности предприятия, увеличению доходов и итоговой прибыли. Суть инновационных процессов состоит в прогрессивных изменениях, происходящих за счет развития новых методов производства, освоения новых источников сырья, развития производства новой продукции, рыночных инноваций и реструктуризации. Маркетинг играет одну из главных ролей в обеспечении успеха предприятия, внедряющего инновации. Инновационный маркетинг позволяет выявить области инноваций, которые помогут реализовать потенциал предприятия и предотвратить негативные тенденции.*

*The work is devoted to the impact of innovative activities on production efficiency. Innovation is the sum of certain efforts aimed at developing and researching an idea, its implementation and commercialization on the market. Innovation leads to increased competitiveness of an enterprise, increased revenue and bottom line profit. The essence of innovation processes is progressive changes that occur through the development of new production methods, the development of new sources of raw materials, the development of the production of new products, market innovations and restructuring. Marketing plays a major role in*

*ensuring the success of an enterprise introducing innovation. Innovative marketing allows you to identify areas of innovation that will help to realize the potential of the enterprise and prevent negative trends.*

**Ключевые слова:** инновации, маркетинг, рынок, экономика, продукт, продажи, реклама, прибыль.

**Keywords:** innovations, marketing, economics, product, sales, advertising, profit.

Инновация – это сумма определенных усилий, направленных на разработку и исследование идеи, ее воплощение и коммерциализацию на рынке. Основной целью инноваций является повышение конкурентоспособности за счет обеспечения выгодного положения компании в производственных и торговых операциях. Достаточно легко отличить инновации в маркетинге от изобретений в этой области. Инновации в производстве приносят доход, а изобретатели получают прибыль от своей работы. Инновации в маркетинге – это успешное применение новых методов и приемов, направленных на улучшение продвижения продукции и компании. Инновационный маркетинг – это воплощение новых идей в определенной деятельности, направленных на внедрение новых продуктов или услуг.

Глобализация и постоянные изменения, происходящие на мировом рынке, являются основой конкурентоспособности предприятия. Неопределенность, вызванная изменениями, требует от предприятий адаптивной активности, а именно разработки стратегий, основанных на инновациях. Реализация инновационной стратегии требует определенных изменений в организационной структуре предприятия и его маркетинговом направлении. Сам по себе инновационный маркетинг формирует основу исследования рынка и набор инструментов для поиска конкурентной стратегии компании [1-3].

Инновации в маркетинге могут быть разнообразными и включать в себя:

- создание нового продукта или улучшение качества существующих продуктов;
- применение новых методов обработки;

- получение ресурсов или сырья из существующих либо вновь созданных источников для захвата рынка;

- повышение конкурентоспособности новых или усовершенствованных продуктов, улучшение их имиджа и увеличение их рыночной доли;

- снижение ресурсоемкости продукта и увеличение объема денежного потока;

- создание конкурентных преимуществ для нового продукта.

Инновационная маркетинговая концепция является основой выбора конкурентной стратегии и включает в себя анализ потребителей, определение возможных рисков при внедрении нововведений, выявление сильных и слабых сторон в конкурентной среде, разработку маркетингового плана [4-6].

В эпоху постоянных изменений мирового экономического рынка внедрение инноваций является залогом успеха компании. Об этом еще в прошлом веке говорили такие ученые, как Дж. Шумпетер, Ф. Котлер, П. Друкер. Понятие «инновация» было введено австрийским экономистом Дж. Шумпетером в начале 20 века. В своей работе «Теория экономического развития» (1911) автор рассматривает проблему инноваций, определяет основные положения теории инноваций. Исследования Дж. Шумпетера являются толчком для последующих работ других зарубежных и отечественных авторов. М. Хучек (1995) трактует инновации как изменения в технологии, организационной технологии, экологии, экономике, а также в социальной жизни предприятия. Многие отечественные и зарубежные авторы изучали влияние инноваций на состояние предприятия, в том числе с ис-

пользованием инновационного маркетинга, и обосновывали его в форме спрос-производство-сбыт [7, 8].

Для получения положительных результатов инновационной деятельности наибольшее внимание уделяется научным исследованиям. Но инновации могут осуществляться и многими другими способами, например, путем объединения и обмена навыками. Клиенты, которые покупают товары или пользуются услугами, являются ключевыми факторами выбора инноваций. Стратегический маркетинг инноваций определяется позиционированием продукта и сегментацией рынка. Важным моментом при выборе инноваций в маркетинговых стратегиях является изучение и прогнозирование спроса на внедряемый новый товар или услугу. Происходит это в результате тщательного изучения потенциала нововведения, восприятия его покупателями.

Стратегический анализ проекта считается необходимым в процессе внедрения инноваций. В это время необходимо решить, какой товар, в каком качестве и кому он будет предлагаться. Поэтому стратегический маркетинг нововведений осуществляется в форме непосредственного контакта с потребителями, маркетологами предприятия и работниками социальных служб (это могут быть анкетирования, опросы и т.п.).

Инновации приводят к сильному увеличению доходов и улучшению итоговой прибыли. В результате компании тратят большую часть своего оборота на инновации, такие, как внесение изменений в существующие продукты, процессы и услуги. Размер этих инвестиций может варьироваться от одного процента от оборота компании до более чем 20 процентов.

Однако нельзя забывать, что инновации могут привести как к большому успеху, так и к отрицательным результатам на рынке. Успех внедряемых инноваций оценивается их принятием потребителями. Восприятие новейшего или усовершенствованного продукта (услуги) состоит из первоначального выбора потребителем, затем более подробного ознакомления,

сравнения с конкурентами или старой версией, оценки возможностей применения и отличительных характеристик новинки. Последний этап – формирование мнения о продукте [9, 10].

Инновация – это прежде всего постоянное развитие, повышение рентабельности производства и расширение ассортимента выпускаемой на рынок продукции. Преимущество перед конкурентами в различных областях означает постоянный активный рост и развитие. Инновации требуют мужества и стратегического мышления, а также аналитических знаний. Учитывая природу инновационного маркетинга, его компоненты и методы, можно определить следующую схему и цели такой деятельности (рис. 1).



Рис. 1

Таким образом, инновационный маркетинг – это первый этап жизненного цикла любого объекта. Для его внедрения важна оценка инновационного потенциала предприятия, который характеризуется степенью готовности к решению задач, гарантирующих достижение поставленной цели, то есть готовностью к реализации инновационной программы или плана инновационных изменений.

По мнению зарубежных маркетологов, инновационно-монополистическая конкуренция возникает на первом этапе – этапе привлечения капитала для инновационного проекта. Второй этап осуществляется посредством изучения новейшей научно-

технической информации и исследования рынка. Третий этап – НИОКР (исследования и разработки) и внедрение инноваций в производственный процесс. На следующем этапе инновационная компания выходит на рынок с существенно новым продуктом.

На первом этапе жизненного цикла присутствия инноваций на рынке требуются конкретные меры по принятию и распространению инновации. Поэтому необходимо создание адекватных каналов сбыта, в том числе развитие новых каналов, усовершенствование и адаптация старых. Эффективность маркетинга на этом этапе зависит от эффективности информационной рекламы, лучшего времени для вывода инновации на рынок, выбора инновационной деятельности по отношению к существующим продуктам, вероятных конкурентов и того, насколько рынок подходит для нового продукта. В этом случае маркетинг должен обеспечивать не только размещение инновации на рынке, но и технологическую совместимость с рынком, преодолевая функциональную конкуренцию между инновацией и альтернативными продуктами [11-13].

На этапе разработки инновационный маркетинг теряет свои творческие черты и приобретает мотивационное значение. Большую роль здесь играет позиционирование компании-производителя.

На стадии зрелости продукта невозможно избежать прямой конкуренции с остальными участниками рынка. Приобретение товаром известности стимулирует конкурентов к разработке товаров-заменителей, их модернизации и т.д. Поэтому необходима трансформация конкурентной стратегии. На этом этапе возрастает роль стратегии лидерства по издержкам, а стоимость инноваций снижается. На данном этапе инновационный маркетинг стремится к двум целям: эффективно поддерживать продажи зрелых коммерческих продуктов и разрабатывать стратегию продвижения с учетом спроса.

В инновационном маркетинге японские фирмы применяют быстрое снижение цен на новый товар после его появления на

рынке. Затем используется ценовое маневрирование для одновременного увеличения доходов и охвата более широкого круга потребителей. В этом случае вероятны значительные колебания объема продаж. Здесь способности менеджера по маркетингу должны позволить увеличить доход компании как за счет увеличения продаж продукции, так и за счет появления новейших модификаций и моделей одного и того же товара.

Управление инновационным маркетингом включает в себя не только рост продаж, но и обеспечение поставок и послепродажное обслуживание.

Оперативный маркетинг обеспечивает будущее развитие, собирает систематическую информацию о рыночной среде, ее спросе, клиентах, конкурентах и находит новые ниши продаж. Целью данного вида маркетинга является увеличение доходов, защита имиджа компании, увеличение доли рынка. В этом случае маркетинговые службы работают над созданием сети продаж, формированием рекламной кампании, презентаций, выставок, прямых, дисконтных и пробных продаж, гарантийным и сервисным обслуживанием.

В маркетинге большое внимание уделяется оценке маркетинговых затрат и прибыли. Для расчета затрат необходимо проанализировать переменные и постоянные издержки реализации и производства, определить ценовую эластичность прибыли, изучить ценовую политику конкурентов. Рассчитываются затраты на вывод продукта на рынок (реклама, стимулирование сбыта, связи с общественностью и т. д.), а также стоимость сервисного и послепродажного обслуживания. При оценке маркетинговой прибыли следует учитывать изменения спроса, вида и характеристик продукта, прогноз объема продаж, коэффициент использования производственных мощностей, соответствующую производственную программу и альтернативные методы [14-16].

Сейчас существует множество традиционных методов рекламы, а также инновационных технологий воздействия на потребителя. Они появились относительно не-

давно, но уже получили достаточно широкое распространение среди производителей и потребителей. Одним из наиболее перспективных видов такой рекламы за рубежом и в России является видеореклама Indoor TV, которую размещают в местах массового скопления людей. Эксперты говорят, что она может заинтересовать более 90% потенциальных потребителей [17-19].

За последние несколько лет этот тип рекламных технологий значительно улучшился. Технология X3D-видео, производимая корпорацией X3D Technologies и впервые показанная публике во время презентации новых технологий в США, характеризовалась тем, что изображение могло легко выходить за границы экрана и возвращаться обратно, производя на прохожих незабываемое впечатление. Ее главное преимущество, в отличие от простых 3D-технологий, заключается в восприятии трехмерных изображений без использования дополнительных стереочков или шлемов, а также в реалистичности изображения. Благодаря большому углу обзора и технологии передачи 3D-эффект виден на расстоянии 100 метров, что делает эту технологию подходящей для демонстрации услуг и товаров в местах продаж. Использование такой технологии для показа видеороликов – отличная возможность эффективного и запоминающегося сознательного воздействия на потенциальных потребителей.

Не останавливаясь на достигнутом, эксперты в области рекламных технологий сделали еще один шаг вперед, поразив рекламодателей более совершенной технологией Ground FX. Эта новейшая интерактивная проекция, созданная Gesture Tek, позволяет потенциальному потребителю не только смотреть рекламный ролик, но и участвовать в нем. Сегодня благодаря высокой эффективности этот вид рекламы часто используется производителями и крупными торговыми центрами Америки, Европы, России и некоторых стран СНГ как для проведения ВТЛ-презентаций, так и для увеличения потока потребителей и гарантии большего количества посещений. Всевозможные мероприятия, ярмарки, пре-

зентации продукции, выставки – области, где активно используются рекламные технологии Ground FX. Последними инновациями в этой области являются тривизор, TransLook (прозрачный киоск), интерактивный стол [20-22].

Кроме того, существуют инновационные уличные витрины, такие, как голографические, проекционные, интерактивные, например, виртуальный промоутер. Возможно, покупателя проще заинтересовать не большими экранами и плазменными панелями, а с помощью специальной проекционной пленки, на которую будут проецироваться маркетинговые кампании, или при использовании видео реального человека. Эти виды наружной рекламы позволяют создавать у потребителя впечатление, что данная реклама работает только для него.

## ВЫВОДЫ

В общем смысле суть инновационных процессов состоит в прогрессивных изменениях, происходящих за счет развития новых методов производства, освоения новых источников сырья, развития производства новой продукции, рыночных инноваций и реструктуризации. Эффективное внедрение инноваций закладывает основу для получения существенных преимуществ в наиболее конкурентных сферах.

Маркетинг играет одну из главных ролей в обеспечении успеха предприятия, внедряющего инновации. Маркетинг инноваций позволяет выявить рыночные возможности и угрозы, области инноваций, которые помогут реализовать потенциал предприятия и предотвратить негативные тенденции. Таким образом, под категорией «инновационный маркетинг» следует понимать маркетинговые инструменты, формы и методы, позволяющие более эффективно удовлетворять потребности как потребителей, так и производителей.

Компания должна постоянно совершенствовать продукцию и выводить на рынок инновации, а также формировать конкурентную инновационную стратегию, основанную на организации каналов сбыта и размещении новых продуктов, чтобы сохранить реальных покупателей и привлечь новых.

Инновационные рекламные технологии могут увеличить продажи предлагаемых товаров на 20-45%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атакишиев М.С., Нуралиева Р.Н., Аббасова Н.Х. Организация инвестиционной деятельности. Баку, 2012. 254 с.
2. Джаббаров Р. Маркетинговые исследования и маркетинговая информационная система. Баку, 2016.
3. Алиева Н.Р. Инновационный менеджмент. Баку, 2016.
4. Пашаев К.П. Основа коммерческой деятельности. Баку, 2010.
5. Худей Г., Сондерс Дж., Пирси Н. Маркетинговая стратегия и конкурентное позиционирование. М: Баланс Бизнес Букс, 2005 г. 800 с.
6. Котлер Ф. Маркетинг от А до Я. М: Альпина Паблишер, 2018. 219 с.
7. Карпова С.В. Инновационный маркетинг. М., 2016.
8. Хенсбергер А. Что такое инновационный маркетинг? – <https://www.lead-innovation.com/>. 2019.
9. Гучек М. Социально-экономическое содержание инноваций на предприятии. М., 1995.
10. Ильяшенко Н.С. Организационно-экономические основы инновационного маркетинга промышленных предприятий. Сумы, 2011.
11. Шумпетер Дж.А. Теория экономического развития. М.: Эксмо, 2007. 861 с.
12. Кривчанская А.В. Особенности рынка инноваций // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2017. № 11 - <https://ekonomika.snauka.ru/2017/11/15430>
13. Митус А.А., Пишеничная А.В., Шишко Е.Э. Инновационная деятельность как фактор повышения эффективности функционирования торгового предприятия // Электронный научный журнал «Вектор экономики». 2019. №5. – [http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/5/innovationmanagement/Mitus\\_Phenichnay\\_Shishko.pdf](http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/5/innovationmanagement/Mitus_Phenichnay_Shishko.pdf)
14. Bello D., Leung K., Radebaugh L., Tung R. L., and van Witteloostuijn A. From The Editors: Student Samples in International Business Research // Journal of International Business Studies, 2009. 40, 361...364.
15. Buijzen M. and Valkenbur P.M. The Effects of Television Advertising on Materialism, Parent-Child Conflict, and Unhappiness: A Review of Research. Applied Developmental Psychology, 2003. 24, 437...456.
16. Rajeev B. Creating Brand Meaning: A Review and Research Agenda // Journal of Consumer Psychology. 2019. 29 (3): 535...46.
17. Abhishek B., Tellis G.J. Make, Buy, or Ally? Choice of and Payoff from Announcements of Alternate Strategies for Innovations // Marketing Science. 2014. 33 (1): 114...33.
18. Linton J.D. De-babelizing the language of innovation // Technovation. 2009, vol. 29, no. 11, pp. 729...37.

19. Gunawan D.D., Huarng K.H. Viral effects of social network and media on consumers' purchase intention // Journal of Business Research. 2015. 68 (11), pp. 2237-2241.

20. Boaz N., Murnane J. and Nuffer K. The basics of Business - to - business sales success, McKinsey Quarterly, May 2010.

21. McDonald M.H.B. and Wilson H. Marketing Plans: How to Prepare Them, How to Use Them, John Wiley & Sons Ltd, 2011(7th edn).

22. Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Ташигулатов С.Ш., Алиева Ш.Я., Абдиева Г.З., Мамедова Г.Р. Стратегия рыночного управления в переходном периоде // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 18...23.

#### REFERENCES

1. Atakishiev M.S., Nuralieva R.N., Abbasova N.Kh. Organization of investment activity. Baku, 2012. 254 p.
2. Jabbarov R. Marketing research and marketing information system. Baku, 2016.
3. Alieva N.R. Innovation management. Baku, 2016.
4. Pashaev K.P. Basis for business. Baku, 2010.
5. Hughley K., Saunders K., Percy N. Marketing strategy and competitive positioning, 2008.
6. Kotler F. Marketing from A to Z. 2018
7. Karpova S.V. Innovative marketing. 2016.
8. Hengsberger A. What is innovative marketing? 2019. – <https://www.lead-innovation.com/>.
9. Guchek M. Socio-economic content of innovations at the enterprise. Moscow, 1995.
10. Ilyashenko N.S. Organizational and economic bases of innovative marketing of industrial enterprises. Sumy, 2011.
11. Schumpeter J.A. Theory of economic development. M.: Eksmo, 2007. 861 p.
12. Krivchanskaya A.V. Features of the innovation market // Economics and management of innovative technologies. 2017. № 11 - <https://ekonomika.snauka.ru/2017/11/15430>
13. Mitus A.A., Pshenichnaya A.V., Shishko E.E. Innovative activities as a factor to improve the efficiency of the trade enterprise functioning - [http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/5/innovationmanagement/Mitus\\_Phenichnay\\_Shishko.pdf](http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/5/innovationmanagement/Mitus_Phenichnay_Shishko.pdf)
14. Bello D., Leung K., Radebaugh L., Tung R.L., and van Witteloostuijn A. From The Editors: Student Samples in International Business Research // Journal of International Business Studies, 2009, 40, 361...364.
15. Buijzen M. and Valkenbur, P.M. The Effects of Television Advertising on Materialism, Parent-Child Conflict, and Unhappiness: A Review of Research. Applied Developmental Psychology, 2003. 24, 437...456.
16. Rajeev B. Creating Brand Meaning: A Review and Research Agenda // Journal of Consumer Psychology. 2019. 29(3): 535...46.

17. *Abhishek B., Tellis G.J.* Make, Buy, or Ally? Choice of and Payoff from Announcements of Alternate Strategies for Innovations // *Marketing Science*. 2014. 33(1): 114...33.

18. *Linton J.D.* (2009) 'De-babelizing the language of innovation', *Technovation*, vol. 29, no. 11, pp. 729...37.

19. *Gunawan D.D., Huarng K.H.* Viral effects of social network and media on consumers' purchase intention. *Journal of Business Research*, 68 (11) (2015), pp. 2237...2241.

20. *Boaz N., Murnane J. and Nuffer K.* The basics of Business-to-business sales success, *McKinsey Quarterly*, May 2010.

21. *McDonald M.H.B. and Wilson H.* *Marketing Plans: How to Prepare Them, How to Use Them*, John Wiley & Sons Ltd, 2011(7th edn).

22. *Mammadova H.F., Mammadov F.A., Tashpulatov S.Sh., Alieva Sh.Ya., Abdieva G.Z., Mamedova Q.R.* Strategy of market management in the transition period // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. No 2 (404). P. 18...23.

Рекомендована кафедрой корпоративного управления Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Поступила 25.09.23.

УДК 338.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_27

## ИНСТРУМЕНТЫ ПРОЕКТНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА КЛАСТЕРОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКАХ

### TOOLS FOR PROJECT COOPERATION OF TEXTILE INDUSTRY CLUSTERS IN REGIONAL MARKETS

*М.С. ОБОРИН<sup>1,2,3</sup>, И.И. САВЕЛЬЕВ<sup>4</sup>*

*M.S. OBORIN<sup>1,2,3</sup>, I.I. SAVELEV<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,

<sup>3</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова,

<sup>4</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

(<sup>1</sup>Perm Institute (branch) of the Plekhanov Russian University of Economics,

<sup>2</sup>Perm State National Research University,

<sup>3</sup>Pryanishnikov Perm State Agrarian and Technological University,

<sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University)

E-mail: recreachin@rambler.ru, sii-33@mail.ru

*Реализация стратегии инновационного развития регионов России требует применения современных эффективных технологий организационно-экономического управления. В соответствии с международной практикой одним из таких инструментов является формирование кластеров различного типа. Анализ тенденций социально-экономического развития субъектов страны показывает, что в текущих реалиях отраслевое регулирование должно сочетать элементы самоуправления и государственной поддержки. Предприятия текстильной промышленности являются частью экономической системы региона, на которую оказывают влияние различные факторы. Низкая экономическая эффективность административных субъектов сопровождается получением дотации от своего региона, характеризуется низкой налоговой базой и низким уровнем налоговых и прочих поступлений в бюджет. Это связано с отсутствием на территории круп-*

*ных налогоплательщиков, низким уровнем развития технологической и транспортной инфраструктуры, а также недостаточным резервом профессиональных кадров, обладающих соответствующими компетенциями для реализации перспективных проектов. Формирование инновационного текстильного кластера в регионах способствует не только эффективному развитию текстильной и швейной промышленности, но и выводу производства на высокий уровень, включая конкурентные характеристики. Наличие развитого ядра кластера позволит расширить ассортимент и повысить качественные характеристики производимой текстильной продукции, а также снизить затраты на ее изготовление.*

*The implementation of innovative development strategy of the regions of Russia requires the use of modern effective technologies of organizational and economic management. In accordance with international practice, one of such tools is the formation of clusters of various types. An analysis of trends in the socio-economic development of the country's constituent entities shows that in current realities, industry regulation should combine elements of self-government and state support.. Textile industry enterprises are part of the economic system of the region, which is influenced by various factors. The low economic efficiency of administrative entities is accompanied by the receipt of subsidies from their region, characterized by a low tax base and a low level of tax and other budget revenues. This is due to the absence of large taxpayers on the territory, the low level of development of technological and transport infrastructure, as well as an insufficient reserve of professional personnel with appropriate competencies for the implementation of promising projects. The formation of an innovative textile cluster in the regions contributes not only to the effective development of the textile and clothing industry, but also to bringing production to a high level, including competitive characteristics. The presence of a developed cluster core will expand the range and improve the quality characteristics of the textile products produced, as well as reduce the cost of their manufacture.*

**Ключевые слова:** кластерное развитие, текстильный кластер, инновационное развитие, организация труда, кластерная экономика, системные свойства, кластерная стратегия.

**Keywords:** cluster development, textile cluster, innovative development, labor organization, cluster economy, system properties, cluster strategy.

#### *Введение*

Развитие регионального отраслевого управления приобретает все большую актуальность в связи со следующими объективными причинами:

1) в рамках диссипативной структуры государство должно обеспечивать условия для возможности самоуправления на региональном и микроуправленческом уровне, результатом которого будет способность системы самостоятельно, без воздействия с внешней стороны менять свою структуру, адаптируясь к изменениям;

2) вместе с усиливающейся интеграцией экономик и обществ в мире текущее развитие экономики в России отличается усилением процесса перераспределения властных компетенций, передачей функций от государственного на региональный уровень. При этом значимую роль для развития инновационной среды играет сближение тактических и стратегических инструментов развития реальных и потенциальных интеллектуальных способностей, технологических ресурсов и деловой активности;



3) в развитых странах нарастает тенденция к развитию промышленно-торговой специализации, что выражается в стремлении сконцентрировать отдельные виды производства в регионах, обладающих сравнительными преимуществами [3];

4) органы местного самоуправления обладают достаточными полномочиями и опытом во взаимоотношениях с негосударственным сектором экономики, а также функциями по влиянию на выделение бюджетных ресурсов на реализацию соответствующих программ;

5) местные власти самоуправления более мобильны, поскольку территориально расположены рядом с экономическими субъектами.

Актуальность и своевременность формирования кластерных образований в текстильной промышленности, представляющих институциональную основу инновационного регионального развития, определяют следующие условия и факторы [10]:

- усиливающаяся интеграция экономик и обществ во всем мире;

- борьба за достижение лучших результатов;

- мировой экономический кризис;

- технологический прогресс;

- взаимосвязь отношений по поводу купли-продажи капиталов и современных технологий;

- развитие человеческого капитала и так далее.

*Кластер с текстильной специализацией*

Проблема формирования кластеров с текстильной специализацией в рамках инновационного развития и повышения конкурентоспособности экономических систем является актуальной для многих стран, стремящихся нарастить темпы развития [8]. Согласно институциональной теории условием, способствующим повышению объемов национального производства и уровня жизни населения страны, а также развитию конкурентоспособности при экономической неопределенности, является взаимосвязь между субъектами хозяйствования на основе доверия и кооперации. Эти связи усиливаются при реализации

концепции кластерного развития, основанной на формировании новых взаимоотношений между экономическими субъектами в рамках сетевого взаимодействия, а также системой государственного управления и деловой средой. Эффектом является формирование конкурентных преимуществ кластерных образований и создание инновационного кластера, а также совершенствование компетенций.

Формирование кластеров способствует развитию экономики в регионах и в целом в стране, что обусловлено следующими факторами [11]:

- результативность кластерных образований, кластерные связи способствуют усилению конкуренции, что в свою очередь оптимизирует процесс системного создания инноваций;

- повышение уровня конкуренции между экономическими субъектами, входящими в кластер, способствует развитию внутрикластерной специализации, перераспределению ресурсов в новые сегменты деятельности, эффект от которых заключается в формировании дополнительных бизнес-структур, росте рентабельности, создании рабочих мест, стабильности и успешности развития региона;

- кластеры – одна из форм, связанных с общественными институтами, которая направлена на интеграцию международного и локального бизнеса при формировании различных форм сотрудничества в торговой деятельности, сельском хозяйстве, туристическом секторе, транспортной сфере, что оказывает положительное влияние на развитие сопредельных территорий [4].

Таким образом, эффективное развитие текстильных кластеров в регионах страны определяют следующие особенности и институциональные условия:

- 1) стратегии развития кластеров включают направления бизнеса, обусловленные социально-культурным наследием территории и динамикой потребительских рынков;

- 2) многовариантность кластеров соотносится с обычаями делового оборота и сферой деятельности, определяющей специализацию их ядра;

3) комплекс государственных и общественных мер и механизмов поддержки *кластеров* и *кластерных* инициатив различается в разных странах в зависимости от уровня государственного вмешательства в процесс кластеризации;

4) отсутствуют разработанные методические основы региональной политики кластерного развития производства и меры поддержки кластеров.

#### *Инновационный текстильный кластер*

Далее проведем анализ характерных особенностей инновационного текстильного кластера, входные векторы которого способствуют объединению разных направлений деятельности в общую систему, что вследствие применения однородной сырьевой базы определяет технологию и технические возможности, дальнейшее совершенствование и координацию производственного процесса.

Инновационный текстильный кластер сформирован на основе комплекса проектов, характеризуется следующими задачами [7]:

- производство традиционных тканей на основе инновационных технологий и оборудования;

- разработка и внедрение инновационного оборудования, трансформации трудовых *процессов* и операций для производства инновационного текстиля;

- усовершенствованные направления обучения и подготовки кадровых ресурсов, создание условий инициативы сотрудников к оптимизации индивидуальных трудовых процессов;

- применение новых методов вторичного использования тканей из различных волокон или остатков материалов производственного процесса при реализации текстильной продукции [2].

Таким образом, инновационный текстильный кластер представляет собой целостное единство текстильных и обслуживающих их предприятий, функционирующих на территории региона, на основе применения инновационного технического и технологического оборудования и квалифицированных кадровых ресурсов. В соответствии с научно-теоретическими

концепциями кластер состоит из следующих элементов:

- укрупнение производства на определенной территории или взаимосвязанная деятельность;

- выпуск различных видов тканей *субъектами кластера*;

- большое количество вовлеченных субъектов хозяйствования;

- соперничество между участниками экономических отношений за ограниченные ресурсы и участие в коллективном производстве;

- *взаимообусловленные* между собой *социальные* действия участников;

- различная степень участия субъектов бизнеса в осуществлении инновационной деятельности.

На наш взгляд, инновационный текстильный кластер соответствует представленным составляющим кластера:

1. Сосредоточение производства на крупных предприятиях в рамках определенной территории либо динамической системы взаимодействий в регионе, на территории которого функционирует кластерное образование, характеризующееся выпуском инновационной текстильной продукции, а также смежных отраслей, связанных с данным видом деятельности. Примером такого кластерного образования может служить инновационный текстильный кластер, функционирующий в Ивановской области, на территории которой осуществляет свою деятельность около 68% отечественных предприятий по производству текстильных изделий. Результатом работы данных текстильных предприятий является производство 110 тысяч тонн растительных волокон, получаемых путем переработки хлопка, 100 тысяч тонн пряжи, что составляет 40% национального производства, и до 1600 млн кв. метров тканей ежегодно [12].

2. Производство субъектами инновационного текстильного кластера различных видов тканей, в том числе хлопчатобумажных, марлевых, ситцевых, фланельных, бязевых, шелковых, парусиновых и других.

3. Включение в текстильную промышленность Ивановской области множества производственных и торговых предприятий, взаимодействующих с разными отраслевыми производствами, в которых осуществляет свою деятельность большое количество субъектов экономической деятельности.

4. Производство различных видов ткани и изготовление из них готовых изделий с наиболее высокими качественными характеристиками и нестандартными параметрами, предопределяемое конкурентной борьбой субъектов хозяйственной деятельности за совокупность средств и объектов, необходимых для эффективного производства. В Ивановской области функционирует несколько текстильных монополий, определяющих направления развития конкурентной среды, в которую интегрированы многие средние и малые предприятия по переработке и реализации текстильной продукции [15].

5. Основная часть населения Ивановской области осуществляет свою трудовую деятельность на предприятиях текстильной и швейной промышленности, а также перерабатывающих предприятиях, что определяет их тесную социально-экономическую взаимосвязь.

6. Уровень вовлеченности предприятий текстильной промышленности в процесс инновационного развития Ивановской области определяется степенью использования в производстве инновационной продукции современного сырья, повышением качественных и количественных показателей производимой продукции, что способствует увеличению объемов производимой продукции до 1,5 млн тонн в год.

Основными тенденциями развития инновационного текстильного кластера в будущем могут стать следующие направления [13]:

- производство текстиля, основанного на традиционных классических техниках, и текстильной продукции с новыми качественными характеристиками с использованием инновационных материалов;

- разработка и внедрение современных текстильных технологий, создание инно-

вационного синтетического волокна, по своим характеристикам не уступающего натуральным изделиям, и натурального текстиля;

- комплексное развитие разных технологий с акцентом на производство синтетических и искусственных тканей.

На наш взгляд, оптимальным будет развитие инновационного текстильного кластера на традиционной материальной базе с применением инновационных технологий. Тенденции производства синтетических и искусственных тканей в больших объемах вызваны следующими факторами:

- производство синтетических и искусственных тканей не требует высоких затрат в отличие от производства натуральной текстильной продукции, шерстяных и хлопчатобумажных тканей;

- соответствие производимых синтетических и искусственных тканей экологическим требованиям, отсутствие в текстильных изделиях вредных для человека компонентов;

- допустимость смешивания синтетических и искусственных волокон с натуральными, что предопределяет потенциал создания инновационных тканей с определенными параметрами.

Следовательно, создание инновационного текстильного кластера в регионе окажет непосредственное влияние на развитие текстильной и швейной промышленности в соответствии с международными стандартами качества [5].

Региональные кластерные программы являются инструментом реализации государственно-частного партнерства и основаны на объединении государственных и частных ресурсов, координировании ответственности по общим проектам, упорядочивании общих задач, совокупности различных методов управления. Данный подход характеризуется привлечением к разработке мероприятий для достижения стратегической цели компании представителей широкого спектра организованных, активных групп людей, объединенных единой идеей, субъектов хозяйствования, ученых и экспертов на всех этапах процес-

са в рамках реализации принципов государственно-частного партнерства, что способствует получению максимального эффекта в реализации стратегических проектов. Это реализуется путем формирования системы, координирующей деятельность сотрудников в рамках ограниченных временных и материальных ресурсов. Координационная система включает организационный комитет, аналитиков, ивент-менеджеров, финансистов и контрольные органы [1].

Определен алгоритм создания региональной кластерной программы, предполагающий реализацию следующих мероприятий участниками кластера на основе координации [6]:

- деятельность по созданию или развитию кластера;
- развитие кластерного образования в регионе определенной специализации;
- создание совокупности объектов технологической, промышленной инфраструктуры, образовательных и научных центров по обеспечению развития кластера;
- объединение независимых компаний, общественных организаций, других субъектов *трансграничного сотрудничества*;
- привлечение инвестиций и продвижение продукции на глобальные рынки.

Данная модель является инструментом управления на каждом отдельном этапе последовательности фаз проекта (рис. 1).

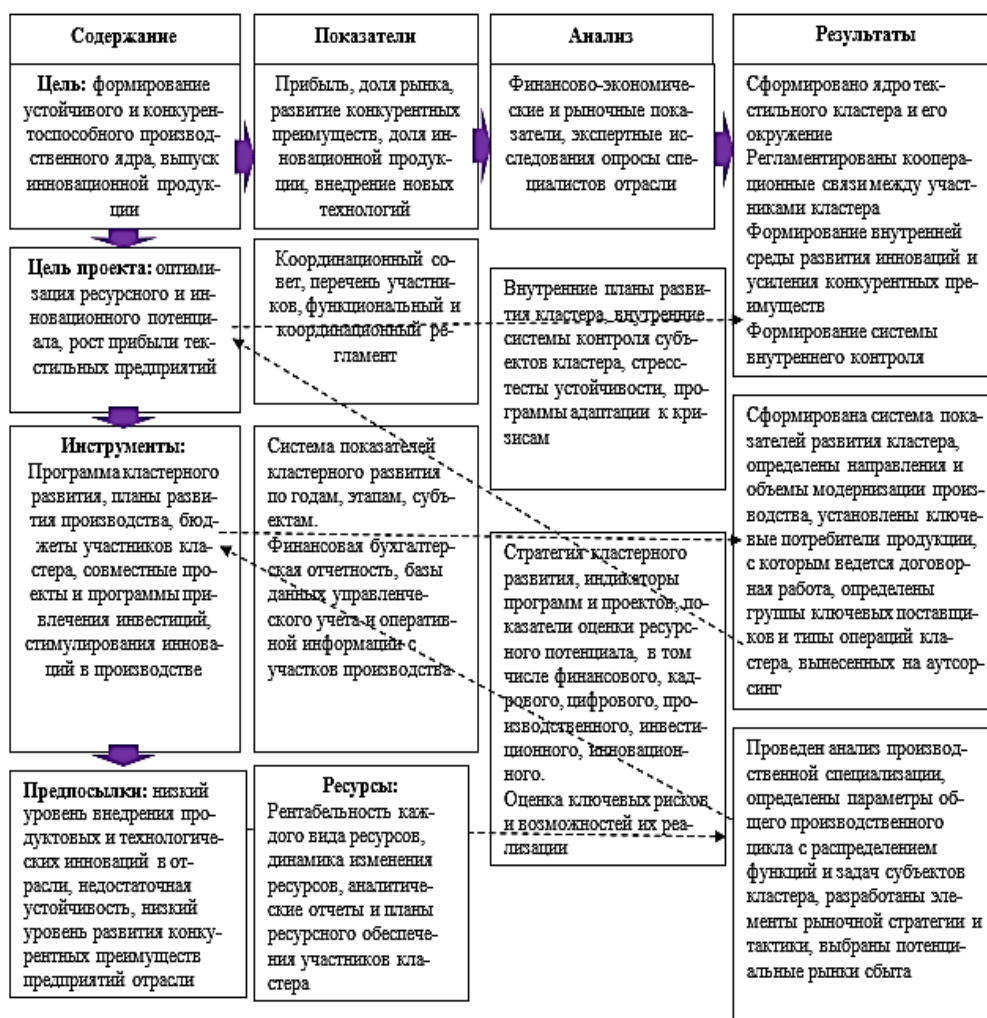


Рис. 1

На первом этапе проводится анализ условий кластерного проектирования в регионе [9, 16]:

- анализ социально-экономических показателей и определение наиболее значимых направлений региональной политики;

- статистические данные о темпах развития и интенсивности осуществления инновационной деятельности в регионе субъектами бизнеса различной специализации;

- характеристика факторов внутренней и внешней среды промышленности региона;

- оценка конкурентоспособности предприятий;

- формализация структуры кластеров, анализ сетевого взаимодействия в идентифицированных кластерах, оценка конкурентоспособности субъектов.

Второй этап является проектным и непосредственно связан с формированием кластера текстильной промышленности.

Третий этап основан на планировании целевых показателей, определении проблем и ограничений развития субъектов кластера, выборе актуальных направлений производства, разработке целей и планов организаций, разработке модели основных элементов стратегии проекта, планировании поступления ресурсов. Разработан алгоритм бизнес-плана развития *кластера*, в который входят следующие элементы: единая цель; определенный результат, который должен быть достигнут в ходе реализации проекта; итоги; ресурсный потенциал; показатели.

На заключительном этапе проводится анализ реализации целевых показателей проекта; анализ конкурентоспособности кластеров текстильной промышленности; рекомендации для устранения причин несоответствия [14].

## ВЫВОДЫ

По сравнению с традиционными методами планирования проектное управление и финансирование в текстильной промышленности характеризуется следующими уникальными особенностями:

- усиливает научную оценку стратегии развития кластеров и поиска решения проблемы за счет формирования логико-структурной модели;

- связывает инструменты и цели проекта, гарантируя их направленность на достижение комплексной стратегии;

- увеличивает приток бюджетных средств для программ и проектов благодаря объединению ресурсов государства и бизнеса;

- предоставляет возможность распределять ресурсный потенциал (временные ресурсы и бюджетные средства) за счет развитой системы управления и эффективной координации с органами региональной власти, результатом будут кластерные инициативы, полезные для экономики региона и повышения конкурентных характеристик производственного ядра.

Таким образом, формирование инновационного текстильного кластера в российских регионах с соответствующей инфраструктурой обеспечит организационную и технологическую основу развития текстильной и швейной промышленности в соответствии с тенденциями рыночного спроса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айдарбеков М.А., Сальниева Т.Ш. Проблемы создания хлопково-текстильных кластеров в Киргизской Республике и пути их решения // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, №4. С. 312...319.

2. Валитова Л.А., Шарко Е.Р., Шерешева М.Ю. Выделение промышленных кластеров на основе анализа бизнес-связей: пример текстильной отрасли // Управленец. 2021. Т.12, №4. С.59...74.

3. Джавадов Т.А., Силаков А.В., Силакова В.В. Формирование производственной программы предприятий легкой промышленности на основе научно-исследовательского партнерства // Дизайн и технологии. 2020. № 79. С. 96...105.

4. Исраилова М.В. Организационно-экономические основы управления хлопково-текстильными кластерами в Узбекистане // Научный вестник НамГУ. 2023. № 1. С. 121...126.

5. Клейнер Г.Б. Системный менеджмент и системная организация предприятия // Современная конкуренция. 2018. Т. 12, № 1 (67). С. 104...113.

6. Котляров И.Д. Закон вертикальной интеграции и тенденции интеграции бизнеса в условиях капитализма: критический анализ. Ч. 2 // Теоретическая экономика. 2020. № 10. С. 37...45.

7. Кривенко Н.В., Епанешникова Д.С. Импортзамещение как инструмент стабилизации социально-экономического развития регионов // Экономика региона. 2020. Т. 16, № 3. С. 765...778.

8. Лукашин Ю.П., Рахлина Л.И. Инновационные кластеры за рубежом и в России // Вестник МИРБИС. 2019. № 2 (18). С. 142...153.

9. Нежникова Е.В., Глюзицкий К.К. Ретроспективный анализ становления и развития текстильной

промышленности России и тенденции развития предприятий отрасли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 13...19.

10. Нидзий Е.Н., Чугумбаев Р.Р. Аналитическое обоснование стратегии инновационных изменений предприятий легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 43...49.

11. Плотников В.А. Партнерство государства и бизнеса в современных условиях: перспективы трансформации // Управленческое консультирование. 2021. № 7. С. 29...38.

12. Смородинская Н.В., Катукоев Д.Д. Когда и почему региональные кластеры становятся базовым звеном современной экономики // Балтийский регион. 2019. Т. 11, № 3. С. 61...91.

13. Федоров С.И. Кластерная политика и инновационная активность промышленных предприятий // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2021. №4. С. 161...185.

14. Шаповалова Е.Б. Кластеры в текстильной и легкой промышленности Российской Федерации // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 5(107). С. 49...52.

15. Юрова П.Н. Многоугольник конкурентоспособности как метод оценки конкурентоспособности кластера и кластерной продукции // ЭФО: Экономика. Финансы. Общество. 2022. № 2. С. 30...41.

16. Юсубалиев А., Пиримов О.Ж., Курбонбоев Т.О., Хусанов А.М. Электросортировка хлопко-сырца повышает эффективность хлопководческих кластеров // Проблемы современной науки и образования. 2018. №8 (128). С. 12...15.

## REFERENCES

1. Aidarbekov M.A., Salpieva T.S. Problems of creating cotton-textile clusters in the Kyrgyz Republic and ways to solve them // Byulleten' nauki i praktiki, 2021. Vol. 7. No. 4. P. 312...319.

2. Valitova L.A., Sharko E.R., Sheresheva M.Yu. Allocation of industrial clusters based on the analysis of business relations: an example of the textile industry // Upravlenec, 2021. Vol.12. No. 4. P. 59...74.

3. Javadov T.A., Silakov A.V., Silakova V.V. Formation of the production program of light industry enterprises on the basis of scientific research partnership // Dizajn i tekhnologii, 2020. No. 79. P. 96...105.

4. Israilova, M.V. Organizational and economic foundations of management of cotton and textile clusters in Uzbekistan // Nauchnyj vestnik NamGU. 2023. No 1. P. 121...126.

5. Kleiner G.B. System management and system organization of the enterprise // Sovremennaya konkurenciya, 2018.Т. 12. No. 1 (67). P. 104...113.

6. Kotlyarov I.D. The law of vertical integration and trends of business integration in the conditions of capitalism: critical analysis (part 2) // Teoreticheskaya ekonomika. 2020. No. 10. P. 37...45.

7. Krivenko N.V., Epaneshnikova D.S. Import substitution as a tool stabilization of socio-economic development of the regions // Ekonomika regiona, 2020. Vol. 16. No. 3. P. 765...778.

8. Lukashin Yu.P., Rakhlina L.I. Innovation clusters abroad and in Russia // Vestnik MIRBIS. 2019. No. 2 (18). P. 142...153.

9. Nezhnikova E.V., Glyuzitsky K.K. Retrospective analysis of the formation and development of the textile industry of Russia and trends in the development of industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2020. No 1 (385). P. 13...19.

10. Nidziy E.N., Chugumbaev R.R. Analytical substantiation of the strategy of innovative changes of light industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2020. No 1 (385). P. 43...49.

11. Plotnikov V.A. Partnership of the state and business in modern conditions: prospects of transformation // Upravlencheskoe konsultirovanie. 2021. No. 7. P. 29...38.

12. Smorodinskaya N.V., Katukov D. D. When and why regional clusters become the basic link of the modern economy // Baltijskij region, 2019. Vol. 11. No. 3. P. 61...91.

13. Fedorov S.I. Cluster policy and innovative activity of industrial enterprises // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika, 2021. No. 4. P. 161...185.

14. Shapovalova E.B. Clusters in the textile and light industry of the Russian Federation // Nauka i biznes: puti razvitiya, 2020. No. 5 (107). P. 49...52.

15. Yurova, P. N. The competitiveness polygon as a method for assessing the competitiveness of a cluster and cluster products// EFO: Ekonomika. Finansy. Obschestvo. 2022. No. (2). P. 30...41.

16. Yusubaliev A., Pirimov O.Zh., Kurbonboev T.O., Husanov A.M. Electrosorting of raw cotton increases the efficiency of cotton clusters // Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya, 2018. No. 8 (128). P. 12...15.

Рекомендована кафедрой экономического анализа и статистики Пермского института (филиала) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. Поступила 26.09.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ**

**STUDY OF DEVELOPMENT TRENDS  
OF LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES  
IN CONDITIONS OF GEOPOLITICAL INSTABILITY**

*О.В. ГРИГОРЯН, О.А. НАУМОВА*

*O.V. GRIGORIAN, O.A. NAUMOVA*

(Самарский государственный экономический университет)

(Samara State University of Economics)

E-mail: ofelia.grigoryan.2001@mail.ru, naumovaoa@gmail.com

*В работе проведена оценка влияния на сектор легкой промышленности изменений на рынке, вызванных обострением геополитической обстановки. В связи с уходом крупных игроков с рынка текстильной промышленности требуется исследование произошедших изменений и их влияния на дальнейшее функционирование работающих компаний. С этой целью проведен анализ финансово-хозяйственной деятельности крупнейших предприятий легкой промышленности России. Результаты показали, что ситуация, сложившаяся в России с уходом мировых брендов, положительно повлияла на внутренних производителей, но при этом необходимо принимать дополнительные меры для стимулирования и оптимизации производства. С помощью метода расстояний выстроен рейтинг анализируемых предприятий. В работе также определены проблемы и направления развития швейного производства, предложены меры по устранению возможных негативных последствий.*

*The paper assesses the impact on the light industry sector of changes in the market caused by the aggravation of the geopolitical situation. Due to the departure of major players from the textile industry market, it is necessary to study the changes that have occurred and their impact on the further functioning of operating companies. For this purpose, the analysis of the financial and economic activities of the largest players in the consumer sector of light industry is carried out. The work fulfilled showed that the situation in Russia and the departure of global brands had a positive impact on domestic producers, but at the same time it is necessary to take additional measures to stimulate and optimize production. Using the distance method, the rating of the analyzed enterprises was built and the causes of the identified trends were identified.*

*The paper also identifies problems and trends in the development of clothing production of competing enterprises, and suggests measures to eliminate negative consequences. State preferences in the textile industry form the prerequisites for stimulating economic processes, which directly affects the formation of the company's revenue.*

**Ключевые слова:** легкая промышленность, финансовый анализ, чистая прибыль, метод расстояний, текстильная промышленность, коэффициенты, антироссийские санкции, рейтинг, рентабельность.



**Keywords: light industry, financial analysis, net profit, distance method, textile industry, coefficients, anti-Russian sanctions, rating, profitability.**

Одним из ведущих секторов экономики РФ выступает легкая промышленность. Данная сфера включает в себя несколько подотраслей: меховую, обувную, швейную, текстильную, кожевенную. Производство необходимой продукции для внутреннего и внешнего рынка не обходится без этих отраслей, что особенно важно в условиях развития импортозамещения [4].

Лидирующая отрасль легкой промышленности – текстильная. Первостепенная задача данной отрасли – это снабжение других отраслей продукцией, что позитивно влияет на экономическое положение в стране [5].

Особенность развития данной отрасли в России обусловлена широкой географией с преобладающей локализацией производства в областях, которые имеют устойчивые ресурсы (водные, трудовые, логистические и т.д.). В 2022 году часть производителей покинула российский рынок в связи с обострением геополитической обстановки, что повысило актуальность развития легкой промышленности. Рынок одежды до 2022 г. более чем на 40% был представлен иностранными брендами, и после их ухода потребность в этих изделиях не прервалась быть актуальной [2].

Сокращение производителей одежды на российском рынке привело к активному росту спроса в этой сфере. Для повышения производительности были введены различные преференции для отечественных предприятий (налоговые льготы, субсидии и т.д.).

В РФ насчитывается свыше 22 тыс. компаний легкой промышленности, где работают 292 тыс. чел. Минпромторг при этом оценивает, что данная сфера всего лишь на 20% перекрывает потребности [1].

В настоящее время существует значительное число исследований, затрагивающих различные аспекты легкой промышленности.

Вопросами экономического развития предприятий легкой промышленности, а также отрасли в целом занимались российские и зарубежные ученые. Среди российских авторов можно выделить таких экономистов и ученых, как В.В. Филатов, В.Ю. Мишаков, Т.С. Коршик [1], С.В. Щурина [2], А.С. Данилин, Д.К. Худов, П.Э. Тен, Д.А. Попов [3], Д.Л. Напольских, У.В. Опарина [4], В.В. Грушников [5].

Среди зарубежных авторов следует обратить внимание на работы: Yuxin Gai, Yuanbo Qiao, Huijing Deng, Yuta o Wang [6], Rocío Román-Collado, María Teresa Sanz-Díaz [7], Luis Yamuza Blanco, Md Mahfujur Rahman, A.B.M. Mainul Bari, Syed Mithun Ali, Amirhossein Taghipour [8], Ting Chen, Xinxin Zhang, Juan Tang, Hailin Guo [9], Hajar Nouinou, Elnaz Asadollahi-Yazdi, Isaline Baret [10].

Целью работы является выявление тенденций развития компаний текстильной и швейной промышленности, рисков их деятельности для разработки направлений повышения эффективности функционирования на рынке.

При проведении исследования применялись такие методы как анализ и синтез, сравнительный метод, метод систематизации, методы финансового анализа, ранговый метод, метод расстояний и др.

Для выявления текущего состояния предприятий текстильной промышленности в РФ проведен анализ финансово-хозяйственной деятельности трех крупнейших игроков: АО «Мэлон Фэшн Групп», АО «Корпорация Глория Джинс», ООО «Чулочно-трикотажная фабрика».

АО «Мэлон Фэшн Групп» является лидером на рынке РФ, занимается производством женской одежды и последующей ее реализацией. Компания образована в 2005 г. на базе швейной фабрики в г. Санкт-Петербурге. В состав ритейлера изначально включались бренды Zarina и Befree, однако через время к ним присоединились Love Republic (2009 г.) и Sela (2019 г.). На



данный момент группа управляет более чем 800 магазинами в городах РФ и СНГ.

АО «Глория Джинс» также представляет сферу производства и торговли одеждой, обувью, а также аксессуарами для всей семьи. На рынке компания успешно функционирует 35 лет, под ее управлением находится свыше 675 магазинов в России, Белоруссии и Казахстане. По оценке Форбс, «Глория Джинс» первый среди российских брендов, где в год продажи составляют выше 5 млрд рублей. По итогам 2022 года ритейлер открыл еще 70 магазинов и 10 на местах, которые раньше занимали ушедшие западные бренды.

ООО «Чулочно-трикотажная фабрика» (бренд – «Чебоксарский трикотаж») берет свое начало с 1941 года, представляет предприятие легкой промышленности, ко-

торое специализируется на производстве трикотажных и швейных изделий. Так, фабрика занимается как производством тканей, так и последующим пошивом из них одежды (верхней, повседневной, специализированной) для взрослых и детей. Каждый год выпускает примерно 200 видов чулочно-носочных изделий, а также больше 250 видов трикотажа для белья и верхней одежды.

Для определения степени влияния на финансово-хозяйственную деятельность швейных и текстильных предприятий ухода мировых брендов одежды с рынка России проведен анализ положения представленных выше предприятий. Рассмотрим динамику итогового финансового результата деятельности предприятия, т.е. чистой прибыли (рис. 1) и выручки (рис. 2).

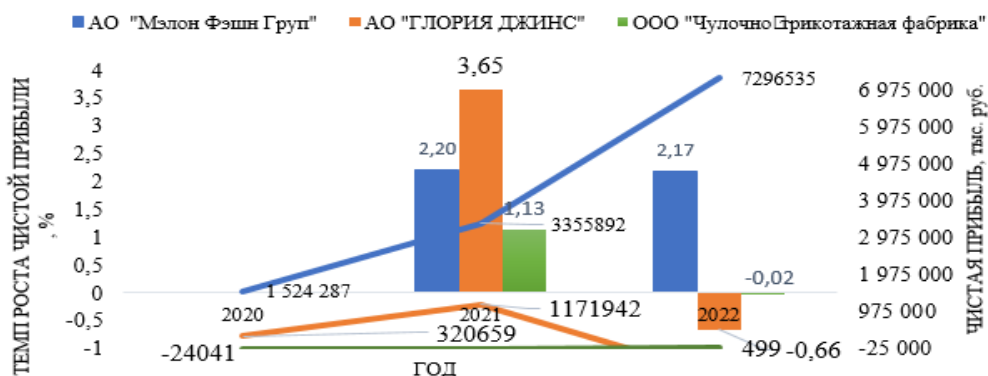


Рис. 1



Рис. 2

АО «Мэлон Фэшн Груп» – лидер по показателю чистой прибыли за три рассматриваемых года. В 2022 году компания достигла увеличения итогового финансового показателя в 2,17 раза по сравнению с 2021 годом. В 2022 году по сравнению с 2020 годом АО «Мэлон Фэшн Груп» почти

в 5 раз добилась увеличения чистой прибыли. Второе место по величине данного показателя занимает АО «Глория Джинс», однако в 2022 г. мы прослеживаем отрицательную динамику темпа роста прибыли, что связано в большей степени с изменениями правил учета объектов аренды. Вве-

дение стандарта учета ФСБУ 6/2020 привело к включению в состав процентов к уплате почти 1,5 млрд руб. расходов, поэтому при формировании выводов размер чистого убытка был скорректирован на эту величину. Значение выручки в 2022 году в то же время показывает положительную динамику – в 1,84 раза больше по сравнению с 2020 годом. Рост АО «Глория Джинс» можем проследить в 2021 году, где чистая прибыль больше в 3,65 раза, чем в 2020 году.

ООО «Чулочно-трикотажная фабрика» в 2020 и 2021 гг. имеет отрицательную чистую прибыль, и в отчетности величина выручки отсутствует, при этом в 2021 г. компания совершила рывок и добилась увеличения чистой прибыли в 499 тыс. руб. и выручки в 13247 тыс. руб.

Проанализируем основные коэффициенты финансовой устойчивости, ликвидности и рентабельности АО «Мэлон Фэшн Груп» за 3 года (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатель	Период, год			Изменения (+/-)		Темп роста, %	
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2021-2020	2022-2021	2021/2020	2022/2021
<b>Степень финансовой устойчивости</b>							
Коэффициент автономии (независимости)	0,19	0,25	0,43	0,06	0,18	128,65	173,68
Коэффициент финансовой зависимости	4,12	2,93	1,28	-1,19	-1,66	71,18	43,46
Коэффициент текущей задолженности	0,56	0,55	0,40	0,00	-0,15	99,28	72,20
Коэффициент финансовой устойчивости	0,43	0,42	0,58	-0,01	0,16	98,36	137,14
Коэффициент платежеспособности	0,45	0,59	0,75	0,14	0,16	131,18	126,49
Плечо финансового рычага	4,20	3,03	1,33	-1,16	-1,71	72,30	43,79
<b>Оценка показателей финансовой устойчивости</b>							
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,37	0,46	0,79	0,09	0,34	123,85	173,74
Коэффициент текущей ликвидности	0,99	1,09	1,69	0,10	0,60	110,19	154,76
Коэффициент финансовой независимости	0,19	0,25	0,43	0,06	0,18	128,65	173,68
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	-0,46	-0,24	0,16	0,22	0,40	52,51	-65,56
<b>Рентабельность</b>							
Рентабельность активов (ROA)	10,53	16,23	29,90	5,70	13,67	154,16	184,19
Рентабельности собственного капитала (ROE)	42,81	73,84	84,57	31,03	10,73	172,50	114,54
Рентабельность продаж (ROS) по чистой прибыли	6,09	9,00	15,84	2,91	6,84	147,88	175,99
Рентабельность продаж (ROS) по прибыли от продаж (Валовая маржа)	10,30	11,88	23,18	1,58	11,31	115,32	195,21
Рентабельность производства	6,78	10,21	20,62	3,43	10,41	150,53	201,89

Полученные результаты позволяют увидеть, что исследуемая организация характеризуется зависимостью от внешних источников финансирования, коэффициент автономии организации по состоянию на отчетную дату составил 0,43. Полученное значение свидетельствует о неоптимальном балансе собственного и заемного ка-

питала. Коэффициент финансового левериджа равен 1,33. Спад показателя в динамике на 1,71 свидетельствует об ослаблении зависимости организации от внешних инвесторов и кредиторов, т.е. о некотором усилении финансовой устойчивости. Значение рентабельности активов по чистой прибыли ROA на конец анализируемого

периода свидетельствует о весьма высокой эффективности использования имущества.

Рентабельность активов на конец анализируемого периода составляла 29,90 %, т.е. эффективность использования имущества в целом была средней. Оборачиваемость активов за анализируемый период показывает, что организация получает выручку, равную сумме всех имеющихся активов за 192 календарных дня. Организации потребуется очень короткое время для погашения своих обязательств. При этом АО «Мэлон Фэшн Груп» показывает довольно высокий темп роста чистой прибыли за 2022 год – более чем в 2 раза.

Аналогичные показатели рассчитаны для АО «Глория Джинс» и ООО «Чулочно-трикотажная фабрика».

Так, АО «Глория Джинс» характеризуется зависимостью от внешних источников финансирования, коэффициент автономии организации по состоянию на отчетную дату составил 0,10. Полученное значение свидетельствует о неоптимальном балансе собственного и заемного капитала.

Плечо финансового рычага в 2022 г. равно 8,63, при этом показатель в динамике увеличился на 1,93, что свидетельствует об усилении зависимости организации от внешних инвесторов и кредиторов, т. е. о некотором снижении финансовой устойчивости.

Значение рентабельности активов по чистой прибыли (-3,16%) на конец анализируемого периода свидетельствует о весьма низкой эффективности использования имущества.

Полученные результаты по ООО «Чулочно-трикотажная фабрика» позволяют сказать, что предприятие зависимо от внешних источников финансирования. Коэффициент автономии составил 0,45, т. е. снизился одновременно с ростом соотно-

шения заемных и собственных средств, что означает снижение финансовой независимости организации и повышение риска финансовых затруднений в будущие периоды. В целом рыночную деятельность организации можно признать неудовлетворительной. Предприятие отличается кризисным уровнем финансовой устойчивости и достаточно рискованной стратегией финансирования, использующей в качестве основного источника кредиторскую задолженность. При этом стоит отметить, что несмотря на низкие показатели рентабельности компания смогла выйти из убытка и увеличить масштабы деятельности. Теперь она подлежит обязательному аудиту и представляет отчетности в полной форме. Это подтверждает рост масштабов, но на начальном этапе приводит к дополнительным расходам, что является причиной низкой рентабельности продаж.

Таким образом, несмотря на неоднозначную динамику показателей финансово-хозяйственной деятельности рассмотренных компаний в целом за предыдущие 3 года были выявлены следующие тенденции:

- рост выручки;
- усиление платежеспособности;
- укрепление финансовой устойчивости;
- рост рентабельности продаж.

Для более подробного исследования причин и тенденций изменения показателей деятельности компаний текстильной промышленности проведем рейтинговую оценку методом расстояний на основании данных табл. 2. Эталон оценки – минимальное значение  $R_i$ :

$$R_i = \sum K_i (X_{0j} - X_{ij})^2 \quad (i = 1, m). \quad (1)$$

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты	АО "Мэлон Фэшн Груп"	АО "Глория Джинс"	ООО "Чулочно-трикотажная фабрика"
Коэффициент автономии (независимости)	0,43	0,10	0,45
Коэффициент текущей задолженности	0,40	0,28	0,52
Коэффициент финансовой устойчивости	0,58	0,72	0,48
Коэффициент платежеспособности	0,75	0,14	0,94
Плечо финансового рычага	1,33	8,63	1,22

Коэффициент абсолютной ликвидности	0,79	0,07	0,05
Коэффициент текущей ликвидности	1,69	1,29	0,73
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,16	-1,48	-0,42
Рентабельность активов	29,90	-3,16	0,11
Рентабельности собственного капитала	84,57	-26,97	0,39
Рентабельность продаж по чистой прибыли	15,84	-3,69	3,77
Рентабельность продаж по прибыли от продаж	23,18	5,88	-228,07
Рентабельность производства	20,62	-3,92	1,15
Коэффициент оборачиваемости собственного капитала	16,16	7,30	0,10
Коэффициент оборачиваемости заемного капитала	2,15	0,97	0,04
Ri	0,927	12,410	11,751

Таким образом, по результатам оценки деятельности конкурирующих организаций на основе метода рейтинга (рис. 3) можно заключить, что наибольшую рейтинговую оценку получило АО «Мэлон

Фэшн Груп», второе место – АО «Глория Джинс», третье – ООО «Чулочно-трикотажная фабрика».

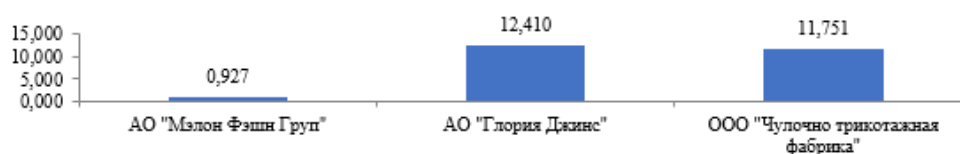


Рис. 3

В связи с уходом иностранных брендов одежды с российского рынка у многих российских компаний легкой промышленности появился шанс занять освободившуюся нишу и набрать обороты по производству и реализации швейной продукции, но для этого необходимо решить следующие проблемы.

Во-первых, с вводом антироссийских санкций возникли проблемы в логистической цепочке с поставками материалов и импортных комплектующих от западных производителей для текстильного и швейного производства. Предприятия в оперативном режиме перезаключают договора с другими иностранными и российскими партнерами, а это в свою очередь требует достаточного времени и дополнительных расходов на коммерцию. Ко второй проблеме относится отсутствие или недостаточные объемы собственного производства тканей. К третьей проблеме относится устаревшее текстильное и швейное оборудование, амортизация, высокий процент физического износа

промышленного оборудования [1]. К четвертой проблеме относится отсутствие квалифицированного персонала. К пятой проблеме можно отнести массовую экспансию на текстильный рынок производителей из дружественных стран. Российским производителям важно не упустить свои возможности и сохранить достигнутые результаты.

Выявленные проблемы влияют на дальнейшие перспективы развития легкой промышленности в стране. В качестве одного из решений могут быть меры, указанные в навигаторе Минпромторга России для легкой промышленности. Среди них наиболее интересны следующие предложения: установить преференции российским компаниям для выполнения госконтрактов (пошив одежды и формы для силовых и ведомственных структур); запретить вывоз полуфабрикатного сырья из страны; предоставить компаниям льготные кредиты, если они занимаются разработкой перспективных технологий и производством продукции, способной заменить зарубежные аналоги [11].

Эти меры позволят повысить конкурентоспособность российских компаний и сформировать оптимальные условия для импортозамещения в текстильной промышленности.

Учитывая результаты анализа финансово-хозяйственной деятельности исследуемых текстильных предприятий, а также выявленные проблемы отрасли, к основным направлениям развития предприятий текстильной промышленности следует отнести:

- увеличение объемов производства дорогого и среднего сегмента и расширение производства с применением мер поддержки;
- расширение ассортимента, использование современных материалов, высоких технологий и инновации;
- адаптация международных моделей развития бизнеса по созданию дилерских сетей, сетей магазинов в стране;
- формирование сырьевой базы, увеличение складов;
- консолидация отрасли и укрупнение компаний;
- увеличение доли российских производителей на маркетплейсах;
- цифровизация и автоматизация промышленного процесса, автоматизированные системы хранения и поиска на складах, автоматизация раскроя, применение нового поколения «швейных роботов», нанотехнологий в материалах и в создании продуктов, технологии 4D-дизайна [2].

## ВЫВОДЫ

Выявленные в данной работе тенденции рынка способствуют повышению качества управления предприятиями легкой промышленности и релевантности принимаемых решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов В.В., Мишаков В.Ю., Коршик Т.С., Ксенофонтова Х.З., Гордеева Т.А., Дубоносова Е.А. Современные проблемы управления изменениями в проекте стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года // Известия высших учебных заведений. Тех-

нология текстильной промышленности. 2023. №1. С. 12...22.

2. Шурина С.В. Последствия пандемии для инвестиций в текстильную промышленность России в 2022 году и в среднесрочной перспективе // Экономика. Налоги. Право. 2022. № 1. С. 124...133.

3. Данилин А.С., Худов Д.К., Тен П.Э., Попов Д.А. Проблемы и перспективы развития российского рынка текстильной промышленности // Экономика. Управление. Финансы. 2023. №2 (32). С. 308...319.

4. Напольских Д.Л., Опарина У.В. Легкая промышленность России: состояние и проблемы // Обществознание и социальная психология. 2022. № 8 (38). С. 118...127.

5. Грушников В.В. Аспекты успешного развития легкой промышленности // Академия стандартизации, метрологии и сертификации. 2023. №2. С. 47...54.

6. Gai Y., Qiao Y., Deng H., Wang Y. Investigating the eco-efficiency of China's textile industry based on a firm-level analysis // Science of The Total Environment. Volume 833, 10 August 2022, 155075.

7. Román-Collado R., Sanz-Díaz M.T. Key drivers of the textile and clothing industry decarbonisation within the EU-27 // Journal of Environmental Management. Volume 334, 15 May 2023, 117438.

8. Md Mahfujur R., A.B.M. Mainul B., Syed Mithun A., Amirhossein T. Sustainable supplier selection in the textile dyeing industry: An integrated multi-criteria decision analytics approach // Resources, Conservation & Recycling Advances. Volume 15, November 2022, 200117.

9. Chen T., Zhang X., Tang J., Guo H. Optimal government subsidy scheme for lean-oriented innovation in the textile industry // Journal of Cleaner Production. Volume 413, 10 August 2023, 137505.

10. Nouinou H., Asadollahi-Yazdi E., Baret I. etc. Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry // Journal of Cleaner Production Volume 391, 10 March 2023, 136184.

11. <https://gisp.gov.ru/nmp/>

## REFERENCES

1. Filatov V.V., Mishakov V.Yu., Korshik T.S., Ksenofontova H.Z., Gordeeva T.A., Dubonosova E.A. Modern problems of change management in the draft strategy for the development of light industry in the Russian Federation for the period up to 2025 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №1. P. 12...22.

2. Shchurina S.V. Consequences of the pandemic for investments in the textile industry of Russia in 2022 and in the medium term // Economy. Taxes. Right. 2022. №1. P. 124...133.

3. Danilin A.S., Khudov D.K., Ten P.E., Popov D.A. Problems and prospects of development of the

Russian textile industry market // Economy. Management. Finance. 2023. №2 (32). P. 308...319.

4. *Napolskikh D.L., Oparina U.V.* Light industry of Russia: state and problems // Social studies and social psychology. 2022. №8 (38). P. 118...127.

5. *Grushnikova V.V.* Aspects of successful development of light industry // Academy of Standardization, Metrology and Certification. 2023. №2. P. 47...54.

6. *Yuxin Gai, Yuanbo Qiao, Huijing Deng, Yutao Wang.* Investigating the eco-efficiency of China's textile industry based on a firm-level analysis // Science of The Total Environment Volume 833, 10 August 2022, 155075.

7. *Rocío Román-Collado, María Teresa Sanz-Díaz.* Key drivers of the textile and clothing industry decarbonisation within the EU-27 // Journal of Environmental Management Volume 334, 15 May 2023, 117438.

8. *Md Mahfujur Rahman, A.B.M. Mainul Bari, Syed Mithun Ali, Amirhossein Taghipour.* Sustainable

supplier selection in the textile dyeing industry: An integrated multi-criteria decision analytics approach // Resources, Conservation & Recycling Advances Volume 15, November 2022, 200117.

9. *Ting Chen, Xinxin Zhang, Juan Tang, Hailing Guo.* Optimal government subsidy scheme for lean-oriented innovation in the textile industry // Journal of Cleaner Production Volume 413, 10 August 2023, 137505.

10. *Nouinou H., Asadollahi-Yazdi E., Baret I. etc..* Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry // Journal of Cleaner Production Volume 391, 10 March 2023, 136184.

11. <https://gisp.gov.ru/nmp/>

Рекомендована кафедрой учета, анализа и экономической безопасности Самарского государственного экономического университета. Поступила 03.11.23.

УДК 331.5:677

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_42

**ОТРАСЛЕВАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РЫНКА ТРУДА  
КАК ОРГАНИЗАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ КАДРОВЫХ ПРОБЛЕМ  
(НА ПРИМЕРЕ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)\***

**SECTORAL OBSERVATORY OF THE LABOR MARKET  
AS AN ORGANIZATIONAL SOLUTION OF STUFF PROBLEMS  
(ON THE CASE OF THE TEXTILE INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS)**

*Е.В. ВАНКЕВИЧ*

*E.V. VANKEVICH*

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

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

E-mail: vankevich\_ev@tut.by

***Определены причины кадровых проблем текстильной и легкой промышленности Беларуси. Показано, что субъекты хозяйствования отрасли и органы государственного управления (Белорусский концерн по производству и реализации товаров легкой промышленности «Беллегпром»), испытывая кадровый голод и дефицит компетенций, нуждаются в стратегических решениях и новых механизмах обеспечения необходимыми кадрами с требуемыми компетенциями. Эффективным инструментом решения данных вопросов является создание отраслевой обсерватории рынка труда. Анализ***

\* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ИСТАИ-2023)", которая состоялась 9-10 ноября 2023 года в учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).



*зарубежного опыта организации деятельности отраслевых обсерваторий рынка труда позволил выделить основные направления их деятельности (формирование базы данных, анализ и мониторинг динамики рынка труда и навыков в отрасли (секторе экономики); разработка аналитических материалов, рекомендаций, проведение целевых исследований по запросу; подготовка методических рекомендаций для осуществления кадровой работы и повышение квалификации работников кадровых служб организаций отрасли; организация обсуждения, дискуссий, конференций с заинтересованными сторонами) и определить факторы, способствующие их эффективной работе (наличие достоверной информационной базы, использование единых методических подходов, сотрудничество с органами государственного управления, негосударственными онлайн-порталами, кадровыми службами предприятий, учреждениями образования; практическая направленность и применимость результатов). Доказано, что формирование отраслевой обсерватории рынка труда текстильной и легкой промышленности представляется целесообразным на базе профильного университета. Определены основные задачи и результаты деятельности такой лаборатории.*

*The reasons for personnel problems in the textile and light industry of Belarus are identified. It is shown that the economic entities of the industry and the state management body (Belarusian Concern for Production and Sale of Light Industry Goods "Bellegprom"), experiencing staff shortage and competence deficit, need strategic solutions and new mechanisms to provide the necessary human resources with the required competencies. An effective tool for solving these issues is the creation of a sectoral labor market observatory. The analysis of foreign experience in organizing the activities of sectoral labor market observatories has allowed us to identify the main directions of their activities (formation of a database, analysis and monitoring of labor market dynamics and skills in the industry; development of analytical materials, recommendations, conducting targeted research on request; preparation of methodological recommendations for the implementation of human resources work and professional development of employees of human resources services of organizations in the industry; organization of discussions, workshops, conferences with the interested parties; organization of discussions and conferences with the staff of the industry organizations. It is proved that the formation of a sectoral observatory of the textile and light industry labor market seems to be expedient on the basis of a specialized university, the main tasks and results of such a laboratory are defined.*

**Ключевые слова:** человеческие ресурсы, отраслевая обсерватория рынка труда, текстильная и легкая промышленность.

**Keywords:** human resources, sectoral labor market observatory, textile and light industry.

#### *Введение*

В контексте усиливающейся специализации мировой экономической системы и демографических вызовов проблемы кадрового обеспечения приоритетных отраслей экономики становятся стратегически важной задачей. Для Республики Беларусь

текстильная и легкая промышленность является традиционно важной, определяющей специализацию отдельных регионов страны и формирующей занятость для 2,25% работников (среди которых 75,4% женщины) [5, с. 13, 25]. Особенности современного этапа развития, связанные, с

одной стороны, с ускоренными процессами цифровизации и проникновения ИКТ в бизнес-среду, а с другой стороны – тенденцией развития малых и средних производств в текстильной и легкой промышленности страны как более мобильных и конкурентоспособных, влияют на кадровые процессы в отрасли. Это проявляется в увеличивающемся разрыве между потребностями производств в работниках определенной квалификации, профессии и их предложением на рынке труда. В этих условиях от отраслевых органов управления и кадровых служб предприятий требуется проведение активной кадровой политики, основанной на выработке стратегий кадрового обеспечения и превентивной работы с учреждениями профессионального и высшего образования. Однако, как показывает практика, такой работы не проводится. В итоге предприятия жалуются на постоянную нехватку работников (особенно рабочих специальностей), на несоответствие подготовки специалистов в учреждениях высшего и профессионального образования требованиям реальных производств, однако сами никаких реальных действий для исправления данной ситуации не предпринимают. Одной из причин такого положения является отсутствие современных методических подходов к проведению анализа кадровой ситуации в отрасли и неготовность кадровых служб отдельных предприятий и кадровых управлений отраслевых концернов к проведению кадровой диагностики и разработке кадровых стратегий отрасли (предприятий). Данная ситуация не является ха-

рактерной исключительно для текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь. В определенной мере с ней сталкиваются многие отрасли и страны [2, 4]. Одним из способов ее решения является формирование отраслевых обсерваторий рынка труда, направленных на методическое и практическое сопровождение принятия кадровой политики в отрасли и на конкретных предприятиях. Целью статьи является разработка теоретических и методических подходов к организации и деятельности отраслевой обсерватории рынка труда для текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь на основе обобщения позитивного зарубежного опыта в этом вопросе и диагностики современных кадровых проблем белорусской текстильной и легкой промышленности.

*Кадровые проблемы в развитии текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь*

Цифровизация и глобализация оказывают значительное влияние на рынок труда: появляются новые профессии, трансформируются традиционные за счет возникновения новых навыков, усиливается мобильность рабочей силы (которая в условиях онлайн-платформ становится кросс-граничной). При этом одним из основных вызовов для традиционных отраслей экономики являются демографические трудности, обусловленные снижением численности трудовых ресурсов за счет сокращения рождаемости и снижения численности молодежи, вступающей на рынок труда.

Т а б л и ц а 1

	1999 г.	2009 г.	2019 г.	2022 г.
Все население, тыс. чел.	10045,2	9503,8	9413,4	9255,5
в том числе, %:				
мужчины	46,97	46,5	46,23	46,23
женщины	53,03	53,5	53,77	53,77
городское население	69,3	74,3	77,5	78,11
сельское население	30,7	25,7	22,5	21,87
Население в возрасте, тыс. чел.				
0 – 14 лет	1960,6	1400,7	1593,6	1566,9
15-29 лет	2189,2	2160,4	1520,1	1430,1
30-49 лет	3034,0	2777,0	2840,5	2835,5
50-74 года	2439,1	2574,4	2864,6	2893,4
75 лет и старше	421,1	591,4	594,4	529,0



Как свидетельствуют статистические данные, в Республике Беларусь за период, прошедший в течение трех переписей населения (1999 г., 2009 г., 2019 г. с досчетом в 2022 г.), численность детей в возрасте до 14 лет сократилась на 393,7 тыс. чел., молодежи в возрасте 15-29 лет – на 759,1 тыс. чел. (табл. 1). В итоге в структуре населения Республики Беларусь значительно увеличилась доля лиц старше трудоспособного возраста (с 21,5 % в 1999 г. до 24,2 % в 2019 г.).

Вторым каналом сокращения перспективного предложения рабочей силы на рынке труда страны является увеличивающаяся мобильность рабочей силы. Согласно данным баланса трудовых ресурсов Республики Беларусь численность граждан Республики Беларусь, работающих за границей, в 2018 г. составляла 127,4 тыс. чел. (2,23 % численности трудовых ресурсов), в 2021 г. – 149,3 тыс. чел. (2,63 %). Одновременно растут масштабы платформенной занятости, статистики которой в стране не организовано. По экспертным оценкам, ее размер достигает 300 тыс. чел. (порядка 5–6 % численности трудовых ресурсов), часть из которых работают удаленно в зарубежных организациях.

В совокупности демографические факторы привели к весьма ощутимому уменьшению числа абитуриентов в учреждениях профессионального и высшего образования Республики Беларусь.

Третьим фактором, влияющим на сокращение предложения рабочей силы, является устойчиво низкий уровень заработной платы в отрасли, что существенно влияет на изменение отраслевых предпочтений молодежи при трудоустройстве. Так, в 2022 году уровень заработной платы по виду экономической деятельности «Производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха» составил 66,7 % к уровню номинальной среднемесячной заработной платы в стране, при этом он в пять раз ниже, чем в сфере «Информация и связь», почти в два раза ниже по сравнению с «Государственным управлением», в два-три раза ниже, чем в от-

дельных отраслях промышленности [5, с. 13...15]. Поэтому молодежь выбирает направления сектора ИТ, аддитивных технологий, энергетики. Таким образом, численность желающих получить подготовку по специальностям легкой и текстильной промышленности уменьшилась. Это отразилось на сокращении общей численности занятых в данном виде экономической деятельности до 82,6 тыс. чел., или 2,25 % от общей списочной численности работников в стране (ранее этот показатель составлял 4–5 %). Статистические данные свидетельствуют о постоянном оттоке работников из сектора «Производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха».

Данные обследования домашних хозяйств по проблемам занятости населения показывают, что только для 63,3 % занятых полученная специальность и квалификация соответствуют требованиям рабочего места (для 69,3 % лиц с высшим образованием, 53,4 % – со средним специальным и 54,7 % – с профессионально-техническим) [1, с. 39]. То есть почти половина работников со средним специальным и профессионально-техническим образованием не работают по полученной специальности. Соответствие квалификации выполняемой работе у лиц в возрасте до 30 лет (включительно), окончивших учреждения высшего, среднего специального и профессионально-технического образования в 2020–2022 гг., выше, чем по всему пулу работников и составляет 74,6 % (для 80,3 % лиц с высшим образованием, 71,7 % – со средним специальным и 68,7 % – с профессионально-техническим) [1, с. 41]. Цифры свидетельствуют, что более четверти выпускников не работают по полученной специальности.

Резкое сокращение предложения на рынке труда отрасли объективно заставляет предприятия предпринимать превентивные меры, чтобы вовремя обеспечить себя кадрами необходимой квалификации и в нужном объеме. Это означает прежде всего профориентационную работу в учреждениях среднего общего образования и сотрудничество с учреждениями профессио-

нального и высшего образования в образовательном процессе для формирования необходимых навыков и компетенций. Несмотря на наличие точечных примеров эффективной практики со стороны отдельных предприятий текстильной промышленности (например, РУПТП «Оршанский льнокомбинат») на уровне отрасли целенаправленной работы не организовано. Такая деятельность в основном иницируется учреждениями образования и встречается со стороны предприятий формальное отношение. Во многом это объясняется отсутствием подготовленных работников кадровых служб, способных решать данные задачи, и непроработанностью методического сопровождения их деятельности. В этой связи деятельность отраслевой обсерватории рынка труда может стать эффективным инструментом решения данных проблем.

*Зарубежный опыт формирования и направлений деятельности отраслевых обсерваторий рынка труда*

В зарубежной практике сложилось несколько подходов к формированию институциональных форм отраслевых (секторальных) обсерваторий рынка труда:

- как независимых структур;
- в рамках отраслевых органов управления;
- в рамках академических университетов и научных центров [10].

Основная цель создания отраслевой обсерватории рынка труда – формирование информационно-аналитической системы рынка труда на отраслевом уровне на основе объединения различных источников информации о спросе на труд, предложении труда в отрасли, ее обработки на единых методических подходах и представление заинтересованным участникам в релевантной форме для принятия ими решений. Аналитические продукты обсерватории создают предпосылки для повышения эффективности прогнозирования перспективной потребности отрасли в навыках, что в свою очередь является необходимым условием для развития системы образования и ее согласования с запросами отраслевого сегмента рынка труда. Результаты

деятельности обсерватории предназначены для разных групп пользователей (предприятия отрасли и их кадровые службы, профсоюзы, органы государственного, отраслевого и регионального управления, научно-исследовательские центры, учреждения образования, учащиеся, занятые, безработные), при этом каждая из групп пользователей нуждается в своей форме представления информации (аналитика, визуализация, интерактивные дашборды, панельные базы данных и пр.).

Основными направлениями деятельности отраслевых (секторальных) обсерваторий рынка труда являются:

- формирование базы данных, анализ и мониторинг динамики рынка труда и навыков в отрасли (секторе экономики);
- разработка аналитических материалов, рекомендаций, проведение целевых исследований по запросу;
- подготовка методических рекомендаций для осуществления кадровой работы и повышение квалификации работников кадровых служб организаций отрасли;
- организация обсуждений, дискуссий, конференций с заинтересованными сторонами.

Специалисты отмечают увеличение числа обсерваторий рынка труда во многих странах (страны Европейского Союза, США, Тунис, Марокко, Молдавия), а также растущее разнообразие их видов, форм и выполняемых функций. Поскольку существует множество вариантов организации отраслевой обсерватории рынка труда, практика демонстрирует ее разнообразные модели: например, в Ирландии «Отдел исследований навыков и рынка труда» является фактически национальной обсерваторией рынка труда и навыков Ирландии. Такая же модель организации национальной обсерватории рынка труда сложилась в Эстонии (OSKA), Чехии (NOET). Во Франции обсерватории рынка труда созданы на трех уровнях – национальном, региональном и отраслевом и координируются государственной организацией «France Strategy». В ряде европейских стран созданы трансграничные обсерватории рынка труда на принципах сетевого взаимодей-

ствия. Например, Люксембург и соседние регионы Бельгии, Франции и Германии создали в 1998 году Межрегиональную обсерваторию занятости (IEO) для сбора, сравнения и анализа информации об экономике и занятости в объединенном регионе («Great Region»), прогнозирования рынка труда и разработки мер для согласования потребностей рынка труда и навыков. IEO тесно сотрудничает с Европейским порталом мобильности рабочих мест (EURES). Отраслевой подход к организации обсерваторий рынка труда используется в Чехии, Финляндии, Дании, Нидерландах, Франции, Великобритании, Германии, Австралии, ЮАР, Португалии, Италии, Грузии, США, транссекторальный подход – в Эстонии, Бельгии, Дании, Кипре, Мальте [8; 10, с. 29...30]. Отраслевая обсерватория рынка труда помогает сфокусировать отраслевые данные, объединить методы количественного и качественного анализа и сделать прогноз рабочих мест и рабочей силы для отрасли, а также помочь кадровым службам предприятий отрасли разработать и осуществить эффективную кадровую политику, согласованную с системой образования. Специалистами ЕФО [10, с. 77...82] разработан алгоритм ключевых шагов для проведения секторального исследования рынка труда и его прогноза, основанный на комбинировании различных баз данных и распространении результатов среди всех заинтересованных [10, с. 79].

Особенно показательным в плане организации деятельности отраслевых обсерваторий рынка труда является опыт Франции, в которой создана сеть из 126 таких обсерваторий, работающих как постоянно действующие структуры на единых нормативно-правовых основах и классификаторах видов экономической деятельности, территорий, занятий, специальностей, навыков и компетенций. Они готовят исследования и отчеты, формируют базы данных, предоставляют их по запросу. 50 % отраслевых обсерваторий рынка труда публикуют перспективные аналитические обзоры, 75 % – рекомендации и прогнозы. Например, Обсерватория профессий в секторе пищевой промышленности Франции

(Observia), созданная в 2004 году, объединяет 33 профессиональные федерации и пять профсоюзов работников, представляющих 9600 компаний и 300000 сотрудников. Observia выполняет следующие функции:

- 1) сбор данных, формирование панельных баз данных;
- 2) анализ рабочих мест и рабочей силы в отрасли;
- 3) прогноз рынка труда и занятости в отрасли;
- 4) разработка планов профессиональных и функциональных перемещений для работников на основе «Карт профессий» (по 46 основным профессиям отрасли в рамках 9 укрупненных групп занятий).

Observia создала инструментарий для оперативного решения кадровых вопросов на предприятиях. Для повышения привлекательности отрасли для молодежи сформирован сайт с визуализированной на нем картой профессионального роста и возможностями построения карьеры в отрасли. Вся информация размещена на интерактивном портале Observia в открытом доступе для всех заинтересованных в удобной для чтения и привлекательной форме.

Обсерватория металлургии во Франции объединяет 43000 предприятий (на них занято примерно 1,5 млн работников) с целью анализа влияния макроэкономических факторов на отрасль и оказания помощи предприятиям и работникам в адаптации и развитии. Обсерватория осуществляет анализ и прогноз рабочих мест и навыков по всей совокупности металлургических секторов (авиационная и ракетная промышленность, автомобилестроение, электроника и пр.). Вся информация представлена на сайте обсерватории. Также обсерватория оказывает методическую помощь кадровым службам предприятий в подборе кадров, разработке методических пособий для их работы (например, по управлению навыками, по проведению собеседования, планированию карьеры сотрудника и пр.). В отдельном фокусе работы обсерватории находятся такие проблемные вопросы для отрасли, как подготовка кадров по наиболее дефицитным профессиям, включение

дефицитных навыков в образовательные программы профильных учреждений образования.

Обобщение зарубежного опыта функционирования отраслевых обсерваторий рынка труда позволяет выделить основные факторы, содействующие их эффективной деятельности:

- наличие достоверной информационной базы, основанной на сочетании данных из разных источников (административные данные, статистические, данные онлайн-источников, опросов);

- наличие единых методических подходов к определению категорий, их интерпретации, оценке и методам их расчета;

- наличие соглашений с органами государственного управления, негосударственными онлайн-порталами, кадровыми службами предприятий, учреждениями образования об обмене информацией и содействии в ее получении при проведении исследований;

- обеспечение дифференциации основных продуктов аналитической деятельности обсерватории для конкретных потребителей, подготовка их в удобном для пользователя формате, использование визуализации данных, интерактивных способов предоставления результатов аналитики;

- практическая направленность и применимость результатов;

- научная добросовестность и беспристрастность исследований.

Результатами деятельности обсерваторий рынка труда/навыков могут быть разнообразные информационные продукты: базы данных; таблицы основных показателей по регионам/секторам; карты и каталоги профессий и квалификаций по секторам; барометры профессий; аналитические отчеты и прогнозы отраслевого рынка труда; рекомендации и информационные материалы для молодежи в разрезе профессий; результаты мониторинга трудоустройства выпускников и оценки эффективности политики обучения; методические рекомендации для деятельности специалистов кадровых служб предприятий; инструменты визуализации; результаты

анализа данных онлайн-порталов вакансий для отрасли и пр.

Результаты деятельности отраслевых обсерваторий рынка труда представляют интерес для многих групп пользователей:

- а) для учреждений образования – какие навыки являются наиболее востребованными, в каких занятиях и видах экономической деятельности они могут быть применены, для корректировки учебных планов и программ;

- б) для организаций дополнительного образования взрослых – приоритетные направления повышения квалификации и переподготовки занятых и безработных;

- в) для целей профориентации – содействие в выборе навыков и профессии, востребованных на рынке труда;

- г) для кадровых служб предприятий (субъектов хозяйствования) – улучшение подбора, расстановки кадров и их эффективного использования;

- д) для органов государственного управления в вопросах совершенствования политики занятости и молодежной политики.

Таким образом, актуальные данные об отраслевом сегменте рынка труда помогут повысить обоснованность принимаемых всеми участниками решений.

*Необходимость формирования отраслевой обсерватории рынка труда в Республике Беларусь и направления ее деятельности*

Как показывают результаты многолетнего авторского мониторинга кадровой ситуации в текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь [3], отрасль постоянно испытывает кадровые проблемы. Анализ эффективности использования трудовых ресурсов на отдельных предприятиях легкой промышленности Республики Беларусь, несмотря на их различное финансово-экономическое состояние, позволяет выделить наиболее характерные кадровые проблемы: неэффективная мотивация и стимулирование труда; хаотичное, во многом не управляемое изменение профессионально-квалификационной и возрастной структуры персонала; наличие и использование устаревших норм времени

(выработки), устаревших форм организации производства, труда и управления; низкий уровень производительности труда при ее достаточно активной динамике (которая обусловлена во многом ценовыми факторами); высокая и растущая мобильность работников; рост расходов на персонал, который не всегда сопровождается повышением эффективности его использования; отношение к кадровой работе на предприятии как к второстепенной, слабая позиция отделов кадров, обусловленная выполнением ими преимущественно нормативно-документационных функций по управлению персоналом. Существует также разрыв между декларацией потребности в работниках определенной квалификации и готовностью работодателя их нанимать на постоянную работу.

На протяжении 1991–2022 гг. численность занятых в отрасли постоянно сокра-

щается, при этом значения коэффициентов оборота по приему и выбытию кадров сохраняются одинаково высокими, что свидетельствует об активном движении кадров на предприятиях отрасли. Тестирование показало отсутствие статистически значимой связи между показателями движения работников (коэффициент оборота по приему, по выбытию, совокупный оборот) и уровнем среднемесячной заработной платы (рис. 1). Это позволяет предположить, что заработная плата не является решающим параметром при перемещениях работников – рабочие места и работники перемещаются хаотично. При этом линии коэффициентов оборота по приему и выбытию практически совпадают, то есть предприятия компенсируют выбытие наймом, и управляемых структурных изменений в экономике не происходит.

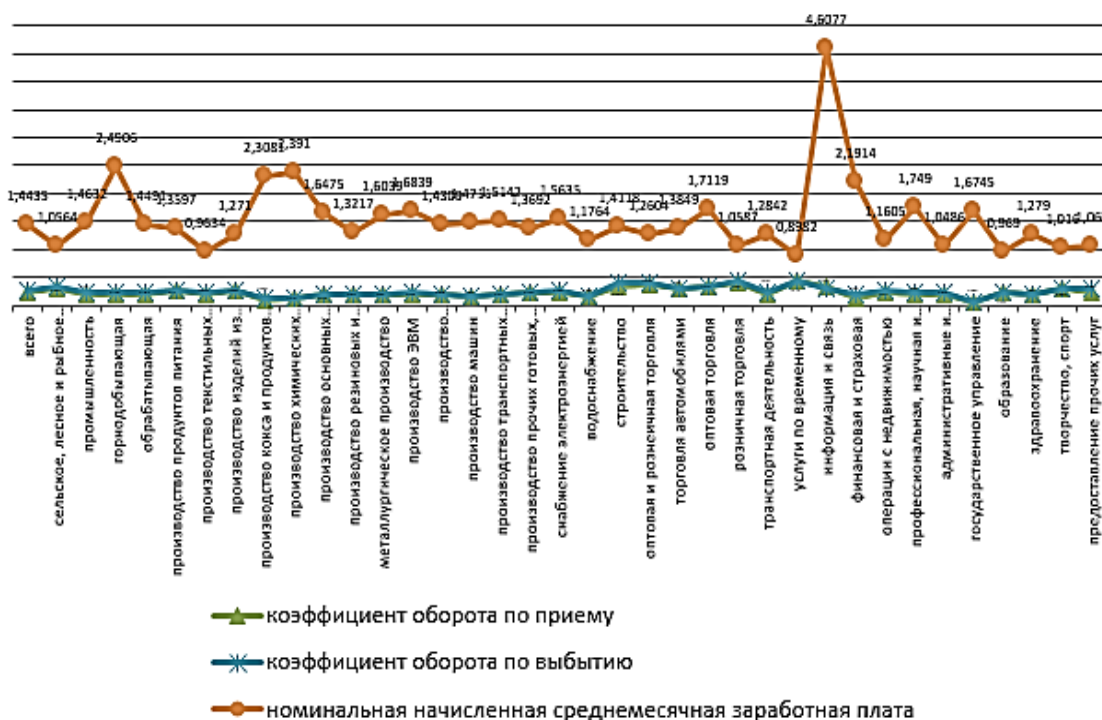


Рис. 1

В «Программе развития легкой промышленности на 2015–2020 годы с перспективой до 2030 года», утвержденной Советом концерна «Беллегпром», нет информации о кадровом обеспечении отрасли, соответственно концерн не планировал проведение превентивной работы по под-

готовке персонала для организаций концерна. Поэтому в настоящее время предприятия этого вида экономической деятельности оказались в ситуации «кадровой ловушки» и дефицита новых навыков. Но несмотря на это в проекте «Стратегии развития текстильной отрасли» концерна

«Беллегпром» на период 2022–2025 гг.» отмечается, что «острой потребности в специалистах высшей квалификации текстильная отрасль не испытывает». Поскольку специалистов для текстильной и легкой промышленности в стране готовит только один университет (Витебский госу-

дарственный технологический университет), ситуация с недобором абитуриентов по специальностям, связанным с текстильной промышленностью (табл. 2), приведет в ближайшей перспективе к проблеме с обеспеченностью отрасли кадрами.

Т а б л и ц а 2

Специальности текстильной и легкой промышленности	План приема, чел.	Факт приема, чел.	Проходной балл
Дизайн (костюма и тканей)	110	110	183,3...225,3
Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)	104	104	151...235
Метрология, стандартизация, сертификация (легкая промышленность)	99	90	137...214 (дополнительный набор с 2021 г.)
Производство одежды, обуви и кожгалантерейных изделий	132	104	114...220 (дополнительный набор с 2020 г.)
Производство текстильных материалов	81	47	123...190 (дополнительный набор с 2018 г., с 2022 г. – набора нет)

Данные таблицы свидетельствуют о сокращении количества распределенных выпускников Витебского государственного технологического университета специальности «Производство текстильных материалов» на предприятия концерна «Беллегпром» за 2017–2021 год, наличии отказов от ранее произведенных заявок на подготовку данных специалистов, а также о сокращении заказа на подготовку таких специалистов на период 2022–2026 гг. За 2018–2022 гг. прием студентов на специальности текстильной и легкой промышленности сократился на 26,6 %, а выпуск специалистов для отрасли – на 38,87 %.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость усиления взаимодействия предприятий концерна с университетом, что должно найти обязательное отражение в Стратегии развития отрасли. В нее целесообразно включить меры по поддержанию кадрового потенциала отрасли, направленные на взаимодействие организаций концерна «Беллегпром» и базовых учреждений образования в вопросах целевой подготовки специалистов, формирования перечня компетенций, укрепления ма-

териально-технической базы с целью повышения уровня подготовки кадров.

Еще одной кадровой проблемой отрасли является отсутствие методических подходов к определению размера и структуры экономически обоснованной численности работников. Предприятия стремятся мгновенно восполнить выбытие новым наймом, не проводя оценки и аттестации рабочих мест, анализа выполняемых задач, необходимости их решения. Это приводит к двум негативным последствиям:

1) рост запасов нереализованной продукции на складах (что говорит об экономической нецелесообразности ее производства);

2) рост затрат на труд в структуре себестоимости продукции текстильной и легкой промышленности.

Несмотря на то, что концерном «Беллегпром» установлено предельное значение запасов готовой продукции на складах организаций промышленности по состоянию на 01.01.2023 в размере 200 % к среднемесячному объему производства, их фактическое значение на отдельных предприятиях в 2–3 раза превышает даже такой

высокий предельный уровень. В структуре затрат на производство и реализацию продукции в организациях текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь доля затрат на труд (оплату труда и отчисления на социальные нужды) самая высокая (29,9 % в 2018 г., более поздних данных на сайте Национального статистического комитета нет) [11], в то время как, например, в горной промышленности – 9,8 %, в производстве продуктов питания – 10,4 %. То есть текстильная и легкая промышленность – трудоемкие производства, поэтому решение кадровых вопросов должно иметь приоритетное значение.

Часть кадровых проблем может быть решена усилиями самих предприятий, активизацией деятельности их кадровых служб и повышением эффективности менеджмента. Решение другой части кадровых проблем требует совершенствования институционального строения рынка труда в Республике Беларусь, что подразумевает:

1) создание отраслевых обсерваторий рынка труда как структур, обеспечивающих согласование и учет изменяющихся требований работодателей (как главных заказчиков профессионального образования) к качеству профподготовки специалистов в республиканской и региональной сети учреждений образования;

2) различные формы сотрудничества учреждений образования, нанимателей, региональных органов власти и службы занятости в целях достижения соответствия спроса и предложения на рабочую силу как по количественным, так и качественным параметрам;

3) активизацию деятельности кадровых служб предприятий, предполагающую разработку стратегических кадровых планов, усиление взаимодействия с учреждениями образования и службой занятости;

4) усиление маркетинговой деятельности учреждений образования как провайдеров образовательных услуг на рынке труда, формирование студенческих кадровых агентств, нацеленных на активизацию поведения выпускников на рынке труда, и учебно-научно-производственных комплексов с привлечением специалистов

предприятий для уточнения пакета требований к выпускникам, объемов и структуры их подготовки;

5) совершенствование информационной базы о рынке образовательных услуг и рынке труда.

Представляется, что формирование отраслевой обсерватории рынка труда текстильной и легкой промышленности на базе Белорусского концерна по производству и реализации товаров легкой промышленности «Беллепром» нецелесообразно, так как концерн объединяет только 96 предприятий отрасли из 1941 организации, относящейся к данному виду экономической деятельности. Следует отметить отсутствие стратегических документов в отрасли по кадровому обеспечению, а также отсутствие специалистов в структуре концерна и подчиненной ему организации (Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований легкой промышленности») в области кадровой диагностики и рынка труда. При этом специалистами экономического управления концерна собирается первичная информация и статистическая отчетность предприятий, входящих в концерн. Однако далее эта информация используется только для расчета выполнения плановых заданий и темпов роста по отдельным показателям. Несмотря на то, что информация представляется в формате Excel, ее непосредственное использование в экономико-математическом моделировании невозможно. Поэтому необходимо преобразование формы представления данной информации для проведения аналитики с помощью современных пакетов программ (R, Gretl). Учитывая перечисленные обстоятельства (отсутствие кадров, методического обеспечения и информационной базы), считаем целесообразным формирование отраслевой обсерватории рынка труда текстильной и легкой промышленности на базе профильного университета, основываясь на «Примерном положении об отраслевой лаборатории», утвержденном Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 09.02.2017, № 110. Основными направлениями деятельности та-

кой лаборатории могут быть проведение анализа, прогноза отраслевого сегмента рынка труда, разработка методических рекомендаций для реализации технологий кадровой работы в организациях, обучение и повышение квалификации работников

кадровых служб предприятий и др. (табл. 3).

Основные аналитические продукты должны быть доступны пользователям и представлены на сайте обсерватории.

Т а б л и ц а 3

№ пп	Направления анализа	Основные аналитические продукты	Периодичность
1	Социально-демографический и экономический контент развития отрасли	Отчеты, прогнозы, аналитические записки, базы данных	Ежегодно
2	Движение рабочих мест и спрос на труд в отрасли	Базы данных, тенденции	Ежемесячно
3	Навыки и компетенции (связь с учреждениями профессионального и высшего образования)	Аналитические записки	Ежегодно
4	Кадровая диагностика организаций отрасли	Мониторинг кадровой ситуации в организациях по согласованному перечню показателей, аналитические записки	Ежегодно
5	Разработка методических рекомендаций для работников кадровых служб организаций отрасли	Методические рекомендации	Постоянно
6	Проведение конференций, тренингов, семинаров, совещаний, выпуск периодических изданий	График проведения, отчеты, решения	Постоянно
7	Оказание услуг субъектам хозяйствования отрасли по проведению кадровой диагностики и реализации современных технологий кадровой работы	Договора на оказание научных услуг и проведение научно-исследовательских работ	Постоянно

## В Ы В О Д Ы

Исследование выявило нарастание кадровых проблем в текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь, обусловленное не только демографическими факторами, но и отсутствием полномасштабной кадровой диагностики проблем отрасли, их нерешенностью. Исследование зарубежного опыта показало, что эффективным инструментом решения кадровых проблем в отрасли является формирование отраслевых обсерваторий рынка труда. В Республике Беларусь имеются предпосылки для формирования таких обсерваторий на базе профильных учреждений высшего образования [6], которые имеют необходимый кадровый потенциал для решения подобных задач и нормативно-правовое обеспечение. Создание и развитие отраслевых обсерваторий рынка труда обеспечит необходимой информацией органы отраслевого управления и про-

фильные учреждения профессионального и высшего образования для разработки и реализации эффективных технологий кадровой работы и своевременного обеспечения отрасли кадрами в необходимом количестве и требуемого качества.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Занятость населения в 2022 году (по материалам выборочного обследования): стат. бюллетень / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2023.
2. Мишуков С.С., Романова К.Е., Зайцева И.А., Концепция становления национального центра индустрии моды на базе традиционного текстильного комплекса Ивановской области // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4. С. 5...13.
3. Ванкевич Е.В. и др. Современные проблемы организации производства, труда и управления на предприятиях легкой промышленности Республики Беларусь: монография / под ред. Е.В. Ванкевич, В.А. Скворцова. Витебск: ВГТУ, 2010. 283 с.



4. Филатов В.В., Мишаков В.Ю., Коршик Т.С., Ксенофонтова Х.З., Гордеева Т.А., Дубоносова Е.А. Современные проблемы управления изменениями в проекте стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации до 2025 года // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1. С. 12...22.

5. Численность и заработная плата работников Республики Беларусь в 2021 году (по данным разработки годовой отчетности по труду) / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2022.

6. Яшева Г.А., Вайлунова Ю.Г., Вардомацкая Е.Ю. Региональные университеты в кластерно-сетевом партнерстве: оценка и развитие взаимодействия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 5...16.

7. Blueprint for sectoral cooperation in skills. Responding to skills mismatches at sectoral level. A key action of the New Skills Agenda for Europe. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2017.

8. ETF Sector Skills Councils. What? Why? How? Contributing to better VET relevance to the labour market needs. Position Paper, 2013.

9. Osborne M., Holmes C. Key approaches to labor market assessment. Technology at work. V.2.0; The future is not what it used to be. Oxford Martin Programme on Technology and Employment. Oxford Martin School and Citi, GPS // USAID. – <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/view/2092>.

10. Wilson R. Working at sectoral level. Guide to anticipating and matching skills and jobs. Volume 3 / R. Wilson, H. Tarjani, H. Rihova. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2016.

11. [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by)

## REFERENCES

1. Employment of the population in 2022 (based on sample survey data): statistical bulletin / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Minsk, 2023.

2. Mishurov S.S., Romanova K.E., Zaytseva I.A. The formation concept of the fashion industry national center on the basis of the traditional textile complex of the Ivanovo region // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 4. P. 5...13.

3. Vankevich E.V. etc. Modern problems of organization of production, labor and management at light industry enterprises of the Republic of Belarus: monograph / ed. E.V. Vankevich, V.A. Skvortsova. Vitebsk, 2010. 283 p.

4. Filatov V.V., Mishakov V.YU., Ksenofontova KH.Z., Gordeeva T.A., Dubonosova E.A. Modern problems of change management in the draft strategy for the development of light industry in the Russian Federation for the period up to 2025 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 1. P. 12...22.

5. The number and wages of employees of the Republic of Belarus in 2021 (according to the development of annual reporting on labor) / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Minsk, 2022.

6. Yasheva G.A., Vailunova YU.G., Vardomat-skaya E.YU. Regional universities in cluster-network partnership: evaluation and development of interaction // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 6. P. 5...16.

7. Blueprint for sectoral cooperation in skills. Responding to skills mismatches at the sectoral level. A key action of the New Skills Agenda for Europe. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2017.

8. ETF Sector Skills Councils. What? Why? How? Contributing to better VET relevance to the labor market needs. Position Paper, 2013.

9. Osborne M., Holmes C. Key approaches to labor market assessment. Technology at work. V.2.0; The future is not what it used to be. Oxford Martin Program on Technology and Employment. Oxford Martin School and Citi, GPS // USAID. – <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/view/2092>.

10. Wilson R. Working at the sectoral level. Guide to anticipating and matching skills and jobs. Volume 3 / R. Wilson, H. Tarjani, H. Rihova. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2016.

11. [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by)

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023)". Поступила 16.11.23.

УДК 675:620.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_54

**КРАШЕНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ЭКСТРАКТА****DYEING OF NATURAL LEATHER WITH THE USE OF PLANT EXTRACT***Р.Ш. МИРЗАМУРАТОВА<sup>1</sup>, Р.Т. КАЛДЫБАЕВ<sup>1</sup>, Е.Е. БАЙРАМОГЛУ<sup>2</sup>**R.SH. MIRZAMURATOVA<sup>1</sup>, R.T. KALDYBAYEV<sup>1</sup>, E. E. BAYRAMOĞLU<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,  
<sup>2</sup>Университет Эге, Турция)

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan,  
<sup>2</sup>Ege University, Turkey)

E-mail: era05.05@mail.ru

*В данной работе рассмотрены состав и красящие свойства луковой шелухи, способы применения ее в качестве красителя в кожевенном производстве. Луковая шелуха – это остаток пищевого производства. Использование в кожевенном производстве луковой шелухи в качестве красителя защищает окружающую среду и снижает количество химических веществ, содержащихся в коже. В исследовании рассматривается способ получения травяного экстракта из луковой шелухи. При анализе состава экстракта с помощью жидкостного гибридного (Q-TOF) масс-спектрометра LCMS-9030 обнаружено, что экстракт содержит краситель кверцетин и другие вещества.*

*Для оценки прочности окраски использовали Otto Specth Bally Finish Tester. По итогам анализа образец, окрашенный экстрактом луковой шелухи, показал хороший результат.*

*In this studies, the composition and coloring properties of onion peels, methods of application as dyes in leather production are considered. Onion peels is a residue of food production. In the leather industry, the use of onion peels as a dye protects the environment from an ecological point of view and reduces the amount of chemicals contained in the leather. The study considered a method for obtaining natural extract from onion peels. The composition of the extract prepared from onion peels using a liquid hybrid (Q-TOF) LCMS-9030 mass spectrometer was determined. It was found that the extract prepared from onion peels contains the dye quercetin and other substances.*

*The Otto Specth Bally Finish Tester was used to assess the strength of the paint. As a result of the analysis, the sample stained with onion peels extract showed a good result.*

**Ключевые слова:** натуральный экстракт, кожа, прочность окраски, луковая шелуха, кожевенное производство.

**Keywords:** natural extract, leather, color strength, onion peels, leather production.

### Введение

Для улучшения экономической ситуации в Казахстане существует проблема переработки имеющегося в стране сырья, в том числе с целью улучшения работы кожевенного производства.

В последнее время производство экологически чистой кожи стало актуальным [1].

Лук (*Allium* L.) – популярный во всем мире кулинарный ингредиент и разновидность овоща, используемого практически во всех блюдах. Большое количество побочных продуктов – отходов, образующихся при переработке лука, – обычно выбрасывается, но они являются отличными источниками биологически активных соединений и фитохимикатов. С повышением внимания к экономике замкнутого цикла для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду отходы пищевой промышленности, такие, как луковая шелуха, могут использоваться в качестве сырья при разработке пищевых добавок и фармакологических препаратов. С другой стороны, лук создает экологическую проблему из-за его резкого запаха и быстрого распространения фитопатогенов, поскольку в Казахстане в изобилии образуются твердые отходы [2].

В последние годы наблюдается растущая тенденция к замене синтетических красителей натуральными из-за их безопасности и пользы для здоровья населения. Хотя натуральные красители, как правило, менее стабильны и более дорогостоящи, чем синтетические, их разработка и использование привлекают все большее внимание. Постоянно растущий спрос на натуральные красители делает целесообразным поиск и разработку новых или альтернативных источников натуральных красителей [3].

Известно, что цвет красного лука обусловлен главным образом кверцетином (рис. 1) и антоцианами, присутствующими

в эпидермальных клетках чешуйчатых листьев лукавицы. Авторами [4] идентифицированы четыре основных антоциана (рис. 2): цианидин 3-глюкозид, цианидин 3-ламинарибиозид, цианидин 3-малонилглюкозид и цианидин 3-малонилламинарибиозид.

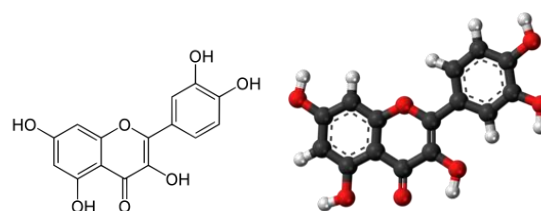


Рис. 1

Поскольку антоцианы растворимы в полярных растворителях, экстракцию антоцианов из растительного сырья обычно проводят с использованием метанола с добавлением небольшого количества соляной или муравьиной кислоты. Кислота снижает pH раствора и предотвращает разложение неацилированных антоциановых пигментов [5].

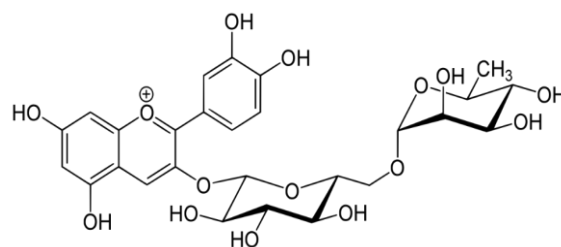


Рис. 2

Лук содержит как насыщенные, так и ненасыщенные жирные кислоты и фитохимические вещества, на их содержание влияют время хранения, температура хранения, генотип и другие факторы. Ненасыщенные жирные кислоты составляют 76,79% от общего количества жирных кислот. Линолевая кислота и линоленовая кислота также содержатся в луковых мас-

лах и не могут быть синтезированы синтетическим путем [8].

Разработка эффективных методов экстракции для успешного извлечения компонентов имеет решающее значение для экономической эффективности и экологичности. В последнее время эффективные методы добычи вызывают большой интерес из-за роста цен на энергоносители, выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и других проблем, связанных с окружающей средой. Важными параметрами, которые следует учитывать при методах экстракции, являются свойства матрицы, выбор растворителя, соотношение жидкость-твердое вещество, температура, давление и время экстракции. В литературе описаны более легкие методы экстракции и стабилизации для получения продуктов из луковых отходов. Например, были оценены для экс-

тракции флавоноидов из твердых отходов лука методы сверхкритической очистки воды, микроволнового нагрева и предварительного кипячения луковой шелухи [9].

Методы, используемые для получения растительных фенольных соединений, такие, как экстракция сверхкритическим флюсом (SFE), экстракция жидкостью под давлением (PLE), микроволновая гидродиффузия и гравитация (MHG), имеют преимущество по сравнению с традиционными методами, поскольку требуют короткого времени для экстракции и потребляют меньше растворителей [10].

Использование луковой шелухи в кожевенном производстве требует продолжения исследований.

#### Методы

Информация о луковой шелухе представлена в табл. 1.

Таблица 1

Общее название	Ботаническое название	Используемая часть	Тип цвета	pH
Лук	<i>Allium cepa</i>	Шелуха	Антоцианин	5

Для получения экстракта из луковой шелухи 200 г луковой шелухи кипятили 3 часа в 3 л воды. Готовый отвар остужали и пропускали через сито. Экстракт луковой шелухи применяли при отделке кожи с добавлением пленкообразователей и воска в соотношении 2:1.

Состав растительного экстракта определяли с помощью жидкостного гибридного (Q-TOF) масс-спектрометра LCMS-9030.

Оценка образцов выполнялась в соответствии с ISO 11640-2014 «Кожа. Определение прочности окраски к трению в прямом и обратном направлении». Работу выполняли в сухом и влажном состоянии кожи и войлока.

#### Результаты и обсуждение

Состав растительного экстракта представлен в табл. 2.

Таблица 2

№	Время (RT)	Соединение	Пик	Масса
1	4,19	3,4-дигидроксибензойная кислота (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub> )	Базовый	154,02
2	3,17	Инозин 5'-тетрафосфат (C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>4</sub> O <sub>17</sub> P <sub>4</sub> )	Главный	587,94
3	10,13	Кверцетин 3-(2-галлоилглюкозид) (C <sub>28</sub> H <sub>24</sub> O <sub>16</sub> )	Главный	616,10
4	3,73	Метил 3-(2,3-дигидрокси-3-метилбутил)-4-гидроксибензоат (C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub> )	Базовый	254,11
5	4,72	6-Метоксифлаванон (C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> )	Главный	254,09
6	12,74	7-гидрокси-6,8-ди-С-метилфлаванон (C <sub>22</sub> H <sub>24</sub> O <sub>7</sub> )7-О-арабинозид	Главный	400,15

Кожа, окрашенная с использованием экстракта, приготовленного из луковой шелухи, сравнивалась по прочности окраски с образцом, окрашенным химическим

пигментом, с образцом, обработанным дистиллированной водой, а также с образцом без отделки. Стойкость окраски определялась по шкале серого эталона по 5-

балльной системе [9]. Для анализа использовался прибор Otto Specth Bally Finish Tester. Оценка прочности окраски к трению белым войлоком в сухом состоянии показана в табл. 3.

Основные образцы: 3 образца с применением луковой шелухи, вырезанные в разных местах кожи.

Контрольные образцы: 1 – образец завода, изготовленный по основному рецепту с применением красителя-пигмента; 2 – образец с применением воды; 3 – образец без отделки.

Оценка прочности окраски к трению черным войлоком в влажном состоянии показана в табл. 4.

Т а б л и ц а 3

Вид образца	Номер образца	Оценка кожи		Оценка войлока белого цвета	
		до эксперимента	после эксперимента	до эксперимента	после эксперимента
Основные образцы	1	4	4	4	4
	2	4/5	4/5	4/5	4/5
	3	4/5	4/5	4/5	4/5
Контрольные образцы	1	4	3/4	4	3/4
	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4

Т а б л и ц а 4

Вид образца	Номер образца	Оценка кожи		Оценка войлока черного цвета	
		до эксперимента	после эксперимента	до эксперимента	после эксперимента
Основные образцы	1	4	4	4,5	4,5
	2	4,5	4,5	4,5	4,5
	3	4,5	4,5	4,5	4,5
Контрольные образцы	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	3	4	3

По результатам анализа самую высокую стойкость показал образец с применением луковой шелухи в сухом состоянии кожи – 4/5 балла. Качество окраски образца, окрашенного химическим пигментом, снизилось до 3 баллов после испытания.

При проверке в условиях влажности образец с применением луковой шелухи показал высокие показатели и оценен на

4/5. При проведении испытаний образца без отделки во влажном состоянии качество окраски снизилось под воздействием влаги из-за отсутствия покровного слоя.

Диаграммы показателей прочности окраски образцов показаны на рис. 3, 4.

По результатам исследования выявлено, что основные образцы имеют отличную прочность окраски кожи.

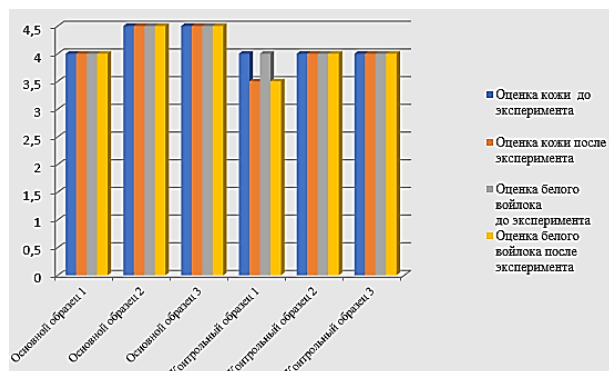


Рис. 3

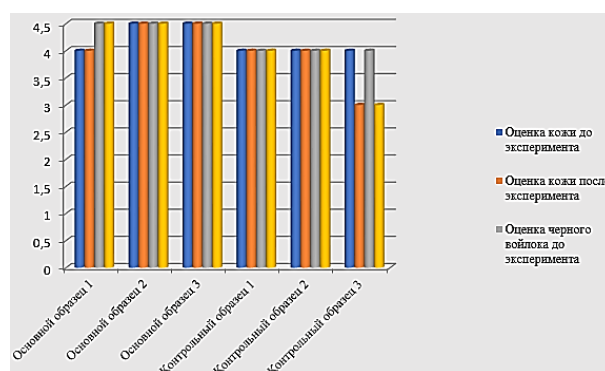


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

Установлено содержание экстракта луковой шелухи: кверцетин 3-(2-галлоил-глюкозид), инозин 5'-тетрафосфат, 6-ме-

токсифлаванон, 7-гидрокси-6,8-ди-С-метилфлаванон.

По результатам эксперимента установлено, что натуральный растительный экстракт из луковой шелухи улучшает каче-

ство окраски кожи, и он рекомендуется к использованию в качестве краски в кожевенном производстве при отделке кожи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bayramoğlu E.E. Hidden Treasure of the Nature: Pas, The Effects of Grape Seeds on Free Formaldehyde of Leather. *Industrial Crops and Products*. 2013, 41. P. 53...56
2. Hersağ F., Esmer B. Onion (*Allium Cera L.*) Shells: Bioactive compounds, recycling products and assessment methods ADYUTAYAM-2022, 10. P. 175...185.
3. Bhuyan R., Saikia C.N. Isolation of colour components from native dye-bearing plants in Northeastern India. *Bioresour. Technol.* 2005. 96. P. 363...372.
4. Donner H., Gao L., Mazza G. Separation and characterization of simple malonylated anthocyanins in red onions *Allium cepa L.* *Food Res -1997, Int.*, 30. P. 637...647.
5. Da Costa, C.T., Horton D., Margolis S.A. Analysis of anthocyanins in foods by liquid chromatography liquid chromatography-mass spectrometry and capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. A* - 2000, 881. P. 403...410.
6. Rodrigues A.S., Pérez-Gregorio M.S., Garcia-Falcón M.S., Simal-Gándara J. Effect of curing and cooking on flavonols and anthocyanins in traditional varieties of onion bulbs. *Food Res. 2009. Int.*, 42. P. 1331...1336.
7. Benítez V., Mollá E., Martín-Cabrejas M.A. etc. Characterization of industrial onion wastes (*Allium cepa L.*): dietary fibre and bioactive compounds. *Plant Foods Hum. Nutr* - 2011, 66(1). P.48...57.
8. Paola B., Gianfranco P., Raffaella N., Menotti C. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties. *J. Am. Oil Nutr.* 2004, 23(4). P. 281...302.
9. Saka C., Sahin Ö. Removal of methylene blue from aqueous solutions by using cold plasma- and formaldehyde-treated onion skins. *Color. Technol.* 2011, 127. P. 246...255.
10. Zilli-Home Ivan M.A., Fabiano-Texier A.S., Elkantaoui M. etc. A remarkable influence of microwave extraction: Enhancement of antioxidant activity of extracted onion varieties. *Food Chemistry.* 2011, 127. P. 1472...1480.
11. Мырхалыков Ж.У., Есиркепова А.М., Исаева Г.К., Кулбай Б.С. К вопросу о методике оценки синергетического эффекта от управления вторичными ресурсами в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №1. С. 5...10.
12. Тулеметова А.С., Парманова Р.С., Жакешова А.П., Маширова Т.Н., Есиркепова А.М. Рынок вязаных и трикотажных изделий Республики Ка-

захстан: состояние и перспективы развития// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. №1. С. 142...149.

#### REFERENCES

1. Bayramoğlu E.E. Hidden Treasure of the Nature: Pas, The Effects of Grape Seeds on Free Formaldehyde of Leather. *Industrial Crops and Products*. 2013, 41. P. 53...56
2. Hersağ F., Esmer B. Onion (*Allium Cera L.*) Shells: Bioactive compounds, recycling products and assessment methods ADYUTAYAM-2022,10. P. 175...185,
3. Bhuyan R., Saikia C.N. Isolation of colour components from native dye-bearing plants in Northeastern India. *Bioresour. Technol.* 2005. 96. P. 363...372.
4. Donner H., Gao L., Mazza G. Separation and characterization of simple malonylated anthocyanins in red onions *Allium cepa L.* *Food Res -1997, Int.*, 30. P. 637...647.
5. Da Costa, C.T., Horton D., Margolis S.A. Analysis of anthocyanins in foods by liquid chromatography liquid chromatography-mass spectrometry and capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. A* - 2000, 881. P. 403...410.
6. Rodrigues A.S., Pérez-Gregorio M.S., Garcia-Falcón M.S., Simal-Gándara J. Effect of curing and cooking on flavonols and anthocyanins in traditional varieties of onion bulbs. *Food Res. 2009. Int.*, 42. P. 1331...1336.
7. Benítez V., Mollá E., Martín-Cabrejas M.A., Aguilera Y., López-Andréu F.J., Cools K., Terry L.A., Esteban R.M. Characterization of industrial onion wastes (*Allium cepa L.*): dietary fibre and bioactive compounds. *Plant Foods Hum. Nutr* - 2011, 66(1). P. 48...57.
8. Paola B., Gianfranco P., Raffaella N., Menotti C. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties. *J. Am. Oil Nutr.* 2004, 23(4). P. 281...302.
9. Saka C., Sahin Ö. Removal of methylene blue from aqueous solutions by using cold plasma- and formaldehyde-treated onion skins. *Color. Technol.* 2011, 127. P. 246...255.
10. Zilli-Home Ivan M.A., Fabiano-Texier A.S., Elkantaoui M. etc. A remarkable influence of microwave extraction: Enhancement of antioxidant activity of extracted onion varieties. *Food Chemistry.* 2011, 127. P. 1472...1480.
11. Myrhalikov ZH.U., Yessirkepova A.M., Isayeva G.K., Kulbai B.S. To the problem of the evaluation methods of synergetic effect in the secondary resources management on the textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2015. 1(355). P. 5...10.
12. Tulemetova A.S., Parmanova R.S., Zhakeshova A.P., Mashirova T.N., Yessirkepova A.M. The market of knitted and knitted products of the Republic of Kazakhstan: Condition and development pro-



УДК 685.34.02

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_59

**КОМПРОМИССНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ  
ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
ПРОЦЕССА ДЕКОРИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВОЙЛОКА**

**A COMPROMISE APPROACH IN SELECTING  
THE OPTIMUM TECHNOLOGICAL MODE  
FOR THE DECORATION PROCESS OF FELT PRODUCTS**

*И.Н. ЛЕДЕНЕВА, Е.А. КИРСАНОВА, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ,  
К.Э. РАЗУМЕЕВ, В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ*

*I.N. LEDENEVA, E.A. KIRSANOVA, P.A. SEVOSTYANOV,  
K.E. RAZUMEEV, V.S. BELGORODSKY*

(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, kirsanova-ea@rguk.ru, sevostyanov-pa@rguk.ru

*Показана актуальность проводимых исследований. Указаны задачи, которые способна решать бесконтактная лазерная пирогRAFия как способ декорирования войлочной обуви. В качестве объекта исследования выбран обувной войлок. Получены регрессионные модели зависимости характеристик материала от варьировавшихся в экспериментах факторов. Показан способ выбора критерия оптимизации технологического режима. Приведен пример решения многокритериальной задачи с использованием системы Matlab. Приведены режимы получения образцов войлока для испытаний. Предложен подход к выбору оптимального технологического режима процесса декорирования изделий из войлока с помощью метода построения компромиссного множества. Показаны особенности предложенного подхода. Показаны линии уровней кодированных критериальных функций и отмечены точки Парето – точки компромиссных решений. Представлен альтернативный подход к поиску решения многокритериальной задачи, в основе которого лежит использование минимаксного правила выбора оптимального решения.*

*The relevance of the ongoing research is shown. Problems that can be solved by non-contact laser pyrography as a method of decorating felt shoes are indicated. Shoe felt was chosen as the object of study. Regression models of the dependence of material characteristics on factors varied in experiments were obtained. A method for selecting a criterion for optimizing a technological regime is shown. An example of solving a multicriteria problem using the Matlab system is given. The modes for obtaining felt samples for testing are given. An approach and methods for solving a multicriteria problem for choosing the optimal technological mode for the process of decorating felt products using the method of constructing a compromise set are proposed. The features of the proposed method are shown. Lines of levels of coded criterion functions are shown and Pareto points - com-*

*promise solutions - are marked. An alternative approach to finding a solution to a multicriteria problem is presented, which is based on the use of a minimax rule for selecting the optimal solution.*

**Ключевые слова:** бесконтактная пирография, обувной войлок, регрессионная модель, компромиссный подход.

**Keywords:** non-contact pyrography, shoe felt, regression model, compromise approach.

### *Введение*

Эстетические показатели являются важными и актуальными при оценке качества обуви. Особенно актуальны они для молодежного ассортимента, но и для детей и людей пожилого возраста эстетика занимает одно из ключевых мест при выборе обуви. Применение новых способов декорирования обуви из валяльно-войлочных материалов позволит расширить ассортимент выпускаемой отечественной продукции, повысив тем самым ее конкурентоспособность. Бесконтактная лазерная пирография способна решить обозначенные задачи [1].

Вопросами эстетики и исследования свойств обувных материалов, в том числе нетканых, занимаются не только отечественные, но и зарубежные ученые [2-5].

В качестве примера исследовали образцы обувного войлока (ОСТ 17-531-75), обработанные поверхностным способом лазерной пирографии. Варьируемыми факторами были площадь заполнения рабочей зоны образца пирографией (25, 50 и 75 %) и толщина материала от 2,5 до 6,0 мм. По результатам двухфакторного эксперимента по оценке теплозащитных свойств методами регрессионного анализа для переменных толщин войлока построены регрессионные модели 2-го порядка, описывающие зависимость этих переменных от факторов площади заполнения рабочей зоны образца [6].

Данные модели использованы для решения задачи оптимизации с применением метода компромиссного подхода к выбору технологического режима декорирования верха обуви методом бесконтактной лазерной пирографии.

Поскольку при выборе оптимального режима важны все контролируемые переменные, необходимо решить задачу многокритериального выбора. Такого рода задачи решаются различными методами, одним из наиболее подходящих в нашем случае является метод компромиссных решений. При его использовании получают не единственное «оптимальное» решение, а множество компромиссных вариантов, более предпочтительных, чем другие решения, не принадлежащие компромиссному множеству.

### *Методы*

Исследовали образцы обувного войлока (ОСТ 17-531-75), обработанные поверхностным способом лазерной пирографии. Перед началом испытаний вырубали образцы обувного войлока размером 200 x 50 мм. Размеры образца соответствуют стандартной методике испытания нетканых анизотропных материалов. Учитывая хаотическую анизотропную структуру исследуемого войлока, для получения достоверных результатов выполняли измерение 10 параллельных образцов с последующим нахождением среднего значения. При этом направление вырубания образцов – вдоль рулона войлока. Для обработки образцов лазерной пирографией применяли лазерно-гравировальное оборудование серии (С) Laser Line (В-1306 (С-120)). Подготовку образцов для исследования выполняли, используя следующие технологические режимы бесконтактной пирографии: луч лазера – сфокусированный, метод нанесения – точечный, установленная мощность лазера – 40 Вт, скорость резки – 15 мм/с, шаг резки – 0,005 Мк. Для обработки пирографией отметили рабочую зону образца, которая составила 100 x 40 мм [1]. По-



верхностная пирография характеризуется воздействием лазерного луча на 1/3 толщины материала. Исследование проводилось по плану полного двухфакторного эксперимента. Фактор  $x_1$  – площадь заполнения рабочей зоны образца пирографией – варьировался на трех уровнях: 25%, 50% и 75 %, фактор  $x_2$  – толщина материала – на уровнях 2,5 мм, 4,5 мм и 6,0 мм. В качестве контролируемых переменных – критериев оптимизации режима поверхностной пирографии – использованы:  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;  $R$  – тепловое сопротивление, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $Q$  – потери тепла, %. По результатам двухфакторного эксперимента построены регрессионные модели 2-го порядка, описывающие зависимость этих переменных от факторов площади заполнения рабочей зоны образца.

#### Результаты и обсуждения

При построении регрессионных моделей значения каждого из факторов были преобразованы в безразмерные переменные по формуле

$$X_j = \frac{x_j - \frac{\min\{x_j\} + \max\{x_j\}}{2}}{\frac{\max\{x_j\} - \min\{x_j\}}{2}}, \quad j = 1, 2.$$

После проверки значимости коэффициентов и адекватности моделей на уровне значимости 5% регрессионные зависимости имеют вид

$$\lambda = 0,0572 + 0,0012X_1 - 0,0104X_2 - 0,0039X_1X_2 + 0,0005X_1^2 - 0,0043X_2^2, \quad (1)$$

$$R = 0,5371 - 0,0052X_1 + 0,123X_2 + 0,0066X_1X_2 - 0,0217X_1^2 - 0,0259X_2^2, \quad (2)$$

$$Q = 16,5520 + 8,8712X_1 + 3,4561X_2 + 3,3914X_1X_2 - 5,3201X_1^2 - 4,2791X_2^2. \quad (3)$$

Модели использованы для выбора оптимального технологического режима декорирования верха обуви способом бесконтактной лазерной пирографии.

Поскольку важными являются все три критерия:  $\lambda$ ,  $R$  и  $Q$ , то был выбран метод компромиссных решений [7, 8]. Описываемый эксперимент, в котором контролиру-

емые переменные измерялись одновременно на одних и тех же образцах материала при одинаково варьируемых факторах, позволяет решать задачу компромисса с применением автоматизированных процедур решения в программной системе Matlab:

$$\begin{aligned} \lambda(X_1, X_2) &\rightarrow \min_{X_1, X_2}, \\ R(X_1, X_2) &\rightarrow \max_{X_1, X_2}, \\ Q(X_1, X_2) &\rightarrow \min_{X_1, X_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Критерии имеют разные единицы измерения, разные масштабы значений и разную направленность: по первому и третьему критериям следует найти решение, минимизирующее в рассматриваемых границах факторов эти критерии, второй критерий следует максимизировать. Поэтому преобразуем масштаб всех функций, начало отсчета и знак функции  $R$  таким образом, чтобы все функции были минимизируемыми и равными 1 в начале координат. Преобразованные описанным образом критериальные функции равны

$$\lambda_c = (0,0572 + 0,0012X_1 - 0,0104X_2 - 0,0039X_1X_2 + 0,0005X_1^2 - 0,0043X_2^2) / 0,0572, \quad (5)$$

$$R_c = -(0,5371 - 0,0052X_1 + 0,123X_2 + 0,0066X_1X_2 - 0,0217X_1^2 - 0,0259X_2^2) / 0,5371 + 2, \quad (6)$$

$$Q_c = (16,5520 + 8,8712X_1 + 3,4561X_2 + 3,3914X_1X_2 - 5,3201X_1^2 - 4,2791X_2^2) / 16,5520. \quad (7)$$

Метод построения компромиссного множества состоит в том, что выделяется не одна «оптимальная» точка  $X^*$ , а небольшое по размерам подмножество значений факторов  $S_{X^*} = \{X_1, X_2\}$  – так называемое компромиссное множество, которое объединяет в себе наиболее предпочтительные по каждому из частных критериев значения факторов. Затем окончательное решение выбирает исследователь неформальным образом с учетом других

факторов, влияющих на оптимальность технологического режима.

Для поиска компромиссного множества решений использована процедура построения оптимального по Парето компромиссного множества, реализованная в математическом программном пакете Matlab.

В табл. 1 приведены номера компромиссного множества, значения частных критериальных функций для этих точек (функция Q с обратным знаком) и значения факторов в этих точках. Из этих значений и следует выбирать квазиоптимальное значение для факторов, обеспечивающее величины критериев – не оптимальные, но близкие к ним.

Т а б л и ц а 1

№№	$\lambda_c$	$R_c$	$Q_c$	$X_1$	$X_2$
1	0,7435	0,8195	0,9565	0,0074	0,9973
2	0,7059	0,8572	1,3697	0,9964	0,9966
3	0,7398	0,8208	1,0480	0,1365	0,9908
4	0,7888	0,8479	0,1679	-0,7912	0,9889
5	0,7676	0,8285	0,6144	-0,3940	0,9845
6	0,7949	0,8564	-0,0043	-0,9221	0,9962
7	0,7558	0,8225	0,7536	-0,2414	0,9970
8	0,7534	0,8218	0,8391	-0,1455	0,9893
9	0,8009	0,8618	-0,0737	-0,9769	0,9870
10	0,8002	0,8625	-0,1023	-0,9953	0,9937
11	0,7934	0,8458	0,3303	-0,6716	0,9475

При таких условиях наиболее предпочтительными значениями факторов будут:  $X_1 = -0.145\dots$ ,  $X_2 = +1$  (в кодированных единицах).

Подход, альтернативный методу применения компромиссного множества, заключается в поиске решения многокритериальной задачи (4) на основе использования минимаксного правила выбора оптимального решения. Это правило формально можно представить в виде

$$\begin{cases} \lambda_c (X_1, X_2) \rightarrow \min_{X_1, X_2}, \\ R_c (X_1, X_2) \rightarrow \min_{X_1, X_2}, \\ Q_c (X_1, X_2) \rightarrow \min_{X_1, X_2}. \end{cases} \quad (8)$$

Согласно этому правилу оптимальным считается решение  $X^*$ , при котором наибольшее значение минимизируемых частных критериальных функций достигнет наименьшего значения. Очевидно, что

при этом остальные критериальные функции примут еще меньшие значения.

Для решения задачи (8) использован инструментарий, используемый при решении задач глобальной оптимизации системы Matlab.

Из результатов полученного решения следует, что оптимальным является решение удерживать фактор  $X_2$  на уровне +1. Для фактора  $X_1$  предлагается значение – 0,1633 (в кодированных величинах). При этом оптимальные значения кодированных критериальных функций равны  $\lambda_c^* = 0,751$ ;  $R_c^* = 0,821$ ;  $Q^* = 0,821$ .

## В Ы В О Д Ы

Предложен подход и методы решения многокритериальной задачи для выбора оптимального технологического режима. Они основаны на Парето – компромиссных множествах и минимаксном методе оптимизации. Приведен пример решения многокритериальной задачи с использованием средств автоматизации решения системы Matlab. Аналогичный анализ предложенными методами (компромиссным и минимаксным) можно применить и к другим регрессионным моделям, которые были получены для других материалов и описаны ранее [11].

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Леденева И.Н., Сницар Л.Р. Бесконтактная пирография – как способ улучшения эстетических свойств обуви с верхом из войлока // Дизайн и технологии. 2020. № 75. С. 19...24.
2. Dobson J. Aesthetic Style as a Poststructural Business Ethic // Journal of Business Ethics. 2010, vol. 93, № 3. P. 393...400.
3. Whiting D. Aesthetic Reasons and the Demands They (Do Not) Make // The Philosophical Quarterly. 2021, vol. 71, № 2. P. 407...427.
4. Li Pui-Ling, Yick Kit-Lun, Yip Joanne, Sun-Pui Ng. Influence of upper footwear material properties on foot skin temperature, humidity and perceived comfort of older individuals // Res. Public Health. 2022. № 19 (17).
5. Lafortune M.A, Hennig E.M. Cushioning properties of footwear during walking: accelerometer and force platform measurements // Clinical Biomechanics. 1992, vol. 7, № 3. P. 181...184.

6. *Сницар Л.Р., Леденева И.Н.* Комплексная оценка потерь тепла обувным войлоком, обработанным бесконтактной лазерной пирографией // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2022): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. Ч. 1. С. 199...202.

7. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. 2-е изд., испр. и доп. М.: Физматлит, 2005. 176 с.

8. *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач: монография. М.: Физматлит, 2007. 255 с.

9. *Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М.* Методы оптимизации. М.: Наука, 1978. 352 с.

10. *Соболь И.М., Статников Р.Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1982. 110 с.

11. *Леденева И.Н., Гинзбург Л.И.* Методика прогнозирования гигиенических свойств обуви с верхом из войлока // Дизайн и технологии. 2015. № 49. С. 32...41.

#### REFERENCES

1. *Ledeneva I.N., Snitsar L.R.* Non-contact pyrography - as a way to improve the aesthetic properties of shoes with felt uppers // Design and technology. 2020, No. 75. P. 19...24.

2. *Dobson J.* Aesthetic Style as a Postructural Business Ethic // Journal of Business Ethics. 2010, vol. 93, № 3. P. 393...400.

3. *Whiting D.* Aesthetic Reasons and the Demands They (Do Not) Make // The Philosophical Quarterly. 2021, vol. 71, № 2. P. 407...427.

4. *Li Pui-Ling, Yick Kit-Lun, Yip Joanne, Sun-Pui Ng.* Influence of upper footwear material properties on foot skin temperature, humidity and perceived comfort of older individuals // Res. Public Health. 2022. № 19 (17).

5. *Lafortune M.A., Hennig E.M.* Cushioning properties of footwear during walking: accelerometer and force platform measurements // Clinical Biomechanics. 1992, vol. 7, № 3. P. 181...184.

6. *Snitsar L.R., Ledeneva I.N.* Comprehensive assessment of heat loss by shoe felt processed by non-contact laser pyrography // Intern. sci.-tech. conf. "Design, technology and innovation in the textile and light industry" (INNOVATION-2022). М.: RSU im. A.N. Kosygina, 2022. Part 1. P. 199...202.

7. *Nogin V.D.* Decision making in a multicriteria environment. Quantitative approach. Ed. 2nd, corrected. and additional. Moscow: Fizmatlit, 2005. 176 p.

8. *Podinovsky V.V., Nogin V.D.* Pareto-optimal solutions of multiobjective problems: monograph. Moscow: Fizmatlit, 2007. 255 p.

9. *Moiseev N.N., Ivanilov Yu.P., Stolyarova E.M.* Optimization methods. М.: Science, 1978. 352 p.

10. *Sobol I.M., Statnikov R.B.* Choice of optimal parameters in problems with many criteria. М.: Science, 1982. 110 p.

11. *Ledeneva I.N., Ginzburg L.I.* A method for predicting the hygienic properties of shoes with a felt top // Design and technology. 2015. No. 49. P. 32...41.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи РГУ имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Поступила 27.11.23.

УДК 677.017:681.5

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_63

## DESIGN OF A COMPLEX QUALITY INDICATOR OF THE APPEARANCE OF THE YARN

### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕГО ВИДА ПРЯЖИ

*M.N. NURIEV<sup>1</sup>, R.T. MIRZOEV<sup>2</sup>*  
*М.Н. НУРИЕВ<sup>1</sup>, Р.Т. МИРЗОЕВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Azerbaijan State Economic University UNEC,  
<sup>2</sup>Azerbaijan Technological University)

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный экономический университет UNEC,  
<sup>2</sup>Азербайджанский технологический университет)

E-mail: razil-mirze@mail.ru, mehman62@mail.ru

*The questions of designing a complex quality index of yarn appearance are considered.*

*It has been established that the improvement of finished product quality in textile enterprises directly depends on systematic and effective quality control of semi-finished products and raw materials at all stages of textile production. When de-*

*termining the quality of the product obtained in spinning production, the appearance of the yarn is evaluated. The consumer properties of the finished product depend in many cases on the appearance of the yarn. The yarn purity class is determined by the composition of external defects in the yarn. The existing methods of determining the yarn purity class based on organoleptic and mechanical methods are not efficient enough. As a result of the conducted researches by methods of qualimetry, single indices characterizing the yarn appearance were determined. The attribution of this or that investigated image to a particular class of objects in accordance with the found values of signs is made according to the decisive rules formulated by the authors.*

*On the basis of the method of expert assessments, the dependencies between the values of single indicators and the point expert assessment, which are represented by linear functions, have been established. The value of the concordance coefficient of 0.86 was obtained for the survey carried out in the course of the work, which indicates good consistency of expert opinions. As an indicator of the desirability of each of the proposed single quality indicators, the average value of the scores on the indicator was used.*

*The weighting of single indices was determined, and expressions for the complex evaluation of the quality of appearance of the most widespread types of cotton yarns with linear densities of 50 and 20 tex were obtained.*

*Рассмотрены вопросы проектирования комплексного показателя качества внешнего вида пряжи.*

*Установлено, что повышение качества готовой продукции на текстильных предприятиях напрямую зависит от систематического и эффективного контроля качества полуфабрикатов и сырья на всех этапах текстильного производства. При определении качества продукта, полученного в прядильном производстве, оценивают внешний вид пряжи. Потребительские свойства готового изделия во многих случаях зависят от внешнего вида пряжи. Класс чистоты пряжи определяется составом внешних дефектов пряжи. Существующие методы определения класса чистоты пряжи, основанные на органолептических и механических методах, недостаточно эффективны. В результате проведенных исследований методами квалиметрии определены единичные показатели, характеризующие внешний вид пряжи. Отнесение того или иного исследуемого образца к конкретному классу объектов в соответствии с найденными значениями признаков производится по сформулированным авторами решающим правилам.*

*На основании метода экспертных оценок установлены зависимости между значениями единичных показателей и балльной экспертной оценкой, которые представлены линейными функциями. Для проведенного в процессе выполнения работы опроса получено значение коэффициента конкордации, равное 0,86, что говорит о хорошей согласованности мнений экспертов. В качестве показателя желательности каждого из предложенных единичных показателей качества использовалось среднее значение баллов по показателю.*

*Определена весомость единичных показателей и получены выражения для комплексной оценки качества внешнего вида наиболее распространенных типов хлопчатобумажной пряжи линейной плотностью 50 и 20 текс.*

**Keywords:** yarn, single index, point assessment, quality, yarn purity, appearance.

**Ключевые слова:** пряжа, единичный показатель, балльная оценка, качество, чистота пряжи, внешний вид.

### *Introduction*

The use of instruments makes it possible to determine the presence and count the number of defects of a certain type on the yarn, as well as to assign the yarn under examination to a certain purity class. The final result must be an assessment of the suitability of the examined yarn for the production of a particular fabric or knitted fabric. When using instruments and methods, such a judgment must be made by the technologist on the basis of his/her experience. The use of computer analysis with pattern recognition methods allows this task to be automated to a greater or lesser extent.

In [1], it is shown that the purity class of cotton yarn has a significant influence on the seam quality.

Such a task is solved in the Yarn Profiler [2] device by Lawson-Hemptill Company (USA), which is designed to measure the number of defects in air-textured threads. It is noted that the standard method of yarn and thread classification involves winding them on a cardboard plate and comparing them with reference samples. However, no such reference samples are available for air-textured threads. There are also no means of quantifying these threads to determine their grade.

The following EIB-S modification instrument from Lawson-Hemptill Company (USA) [3] can be used in the spinning mill and in the production of air-textured yarns. It detects the presence of defects in the yarn or filament and evaluates their influence on the fabric's appearance. It is integrated with instruments for measuring hairiness and classifying defects. The EIB-E instrument is designed for optical measurement of the degree of plexus of chemical filaments and can be operated in three modes. It provides statistical data and a graphic image of the filaments, showing their influence on the appearance of the fabric. The device can be used in the production of smooth, partially oriented, and textured yarns.

The same company has produced an electronic device called the Electronic Inspection Board [4], which sorts yarns by appearance. The device scans every millimeter of the surface of the moving yarn twice. The optical system of the device allows to obtain an image of the yarn profile with a resolution of 3.5  $\mu\text{m}$  [5], data on diameter changes and to record yarn vices. The device provides the number of yarn blemishes and calculates the yarn grade based on the number of blemishes. Moisture, color, and composition of the fiber blend have no influence on yarn inspection results. The device allows the influence of twist on yarn diameter to be determined.

Instruments utilizing optical measurement methods are mainly being developed, gradually replacing competing methods for the control of external defects in yarn and raw materials. It should be noted that manufacturers are endeavoring to equip their developments not only with control means but also with means of improving the quality of raw material. For example, the yarn cleaner [6], through which yarn winding from one bundle (cob) to another bundle (bobbin) passes, is equipped with a measuring head that measures a number of yarn characteristics. These characteristics include yarn thickness, hairiness, yarn color, and yarn line density. For their determination, the measuring head is equipped with appropriate sensors. The signals generated by the sensors are sent to the calculation unit, where they are processed to obtain the numerical values of the respective characteristics.

The devices in question searched for and counted yarn defects in one way or another, providing numerical values for the person to analyze. The next step was the emergence of analyzing the collected data in a variety of graphic forms.

Equipping the USTER TESTER 4-SX [7] device from ZellwegerUster (Switzerland) Company with additional modules allows not

only to record the obtained data but also to analyze them and to classify the yarn according to the results. The device allows to obtain a diagram of yarn quality indices in the form of colored sectors of a circle.

The Yarn Structure Tester G585 device [8] produced by Zweigle (Germany) Company using the Oasys application software package can be used to build visual images of the yarn as it would appear in the fabric. The device uses optical sensors that register the location of thick and thin spots along its length, regardless of the mass distribution within the yarn.

The G 580 GYROS device, produced by Zweigle (Germany) Company [9] with an optical sensor registers thickened and thinned sections of the controlled yarn regardless of their weight. The system makes it possible to create a woven or knitted product from various yarn combinations on the computer in a few minutes. It also selects the optimal variant.

These devices have a high cost and are designed primarily for research laboratories. It is not possible to equip the quality control de-

partments of textile plants with them. Digitized yarn images obtained by scanning can be used for the quantitative assessment of yarn quality under production conditions.

In this connection, it seems relevant to conduct a study aimed at designing a comprehensive quality indicator of yarn appearance.

#### *Materials and methods*

The qualimetric method of quality assessment on the basis of a complex indicator involves an analysis, the purpose of which is to identify single indicators significantly affecting the level of product quality, determine the weight of these indicators, and construct a complex quality indicator on their basis.

The most widespread, well-proven in practice is the differential evaluation method [10], which consists in comparing the values of the indicators of the evaluated products with the basic ones. Let's analyze and select single indicators for yarn grade evaluation by "machine vision" methods. Let's single out from the set of yarn defects those which presence is inadmissible in any class or limited according to GOST 15818-70. The results are summarized in Table 1.

Table 1

Yarn grade	Content of external defects in the yarn			
	Knots	Thinnings	Thickenings	Specks
A	small	not admissible	not admissible	not admissible
Б	more than in A	small	small	not admissible
B	more than in B	more than in B	more than in B	admissible

As can be seen in Table 1, the standard for the evaluation of the yarn grade provides four single indicators – these are "the number of knots", "the number of thin spots", "the number of thick spots", "the number of specks".

The attribution of this or that investigated image to a particular class of objects in accordance with the found values of attributes is made according to the decisive rules.

Let's form decisive rules on the selected features: thickening - has the color of thread, is longer than a centimeter, and is thicker than thread by more than 40%; Thinning: has the color of thread but is thinner than thread by 40%; knot - has the color of thread, the length is shorter than a centimeter, exceeds the cross-section of the thread by 140%; speck -

darker than thread; length and width not more than one thread diameter.

#### *Results and discussion of the study*

The single indicators and the formulated decisive rules do not allow the yarn appearance quality to be assessed as a whole. As a matter of fact, their influence on yarn quality is not equal. In addition, there may be cases when some types of yarn have a low value for some indicators and a high value for others. In this case, it is difficult to compare their quality. To resolve this situation, it is necessary to design a generalized complex indicator. This will make it possible to consider the degree of influence of each single indicator on yarn quality. To assess the degree of influence of each of the above-mentioned single indica-

tors, the method of expert assessment was used.

To implement the expert evaluation procedure, a group of experts was formed. The general requirement for the formation of a group of experts was the possibility of effective problem-solving. The validity of the group expert evaluation depends on the total number of experts in the group. It also depends on the proportion of different specialists in the group and the characteristics of the experts. The expert group for assessing the influence of the single yarn quality parameters defined above consisted of specialists in spinning and weaving. When forming the group of experts, the length of service in the specialty related to the area of expertise, conducting scientific work in the field of assessing the influence of semi-finished products quality on the warping and weaving pro-

cesses and the ability of the experts to make independent judgments were taken into account. According to the classification of the types of tasks solved during expert interviews given in [11], the task solved refers to the quantitative assessment of given objects.

Of the types of surveys used in collective expertise the survey in the form of questionnaires without feedback was chosen, i.e., the survey was conducted in one stage and the experts were not informed about the survey results. The choice of such a variant of the survey is explained by the fact that the questionnaire survey is the most effective and widespread type of survey. This is because it allows the best combination of information provision of experts with their independent creativity. When conducting the survey, the experts were offered a questionnaire as shown in Table 2.

Table 2

Sequence number	Indicate on a nine-point scale the degree of negative influence of each of the named yarn defects on the suitability of the yarn for further processing in warping or as weft in weaving.					
	The defect's name			Score		
1	Number of thickenings per 100 meters of yarn			50	125	200
2	Number of thinnings per 100 meters of yarn			10	30	50
3	Number of knots per 100 meters of yarn			50	125	200
4	Number of specks per 100 meters of yarn			5	10	20

The information obtained from the individual expert survey [12] for 20 tex cotton

yarns is summarized in Table 3 and for 50 tex cotton yarns in Table 4.

Table 3

Expert	Number of thickenings per 100 meters of yarn			Number of thinnings per 100 meters of yarn			Number of knots per 100 meters of yarn			Number of specks per 100 meters of yarn		
	50	125	200	10	30	50	50	125	200	5	10	20
1	1	5	9	1	3	6	1	2	3	3	5	8
2	2	8	9	4	9	9	2	4	7	5	9	9
3	1	3	7	1	5	7	1	4	7	5	7	9
4	2	4	9	1	2	5	1	2	3	2	4	8
5	1	7	9	2	9	9	1	3	7	3	9	9
6	1	4	8	4	5	6	2	4	8	9	9	9
7	2	7	9	7	8	9	1	2	3	9	9	9
8	1	5	7	2	6	8	1	2	4	7	8	9
9	2	6	8	1	4	9	3	6	9	5	7	9
10	1	5	8	1	6	9	1	3	5	3	7	9
11	2	6	9	3	7	9	2	4	7	3	6	8
12	2	4	7	2	5	9	1	3	6	3	8	9
13	2	6	9	1	3	8	2	4	6	5	7	8
14	1	5	9	2	5	8	1	3	6	6	7	9
15	1	4	7	1	6	9	1	2	5	4	7	9
16	2	5	9	3	7	8	3	5	7	5	8	8
17	2	5	8	3	7	9	1	3	5	6	8	9
18	1	6	9	2	5	9	1	4	6	7	8	9

Table 4

Expert	Number of thickenings per 100 meters of yarn			Number of thinnings per 100 meters of yarn			Number of knots per 100 meters of yarn			Number of specks per 100 meters of yarn		
	50	125	200	10	30	50	50	125	200	5	10	20
1	3	7	9	3	7	8	4	6	8	2	5	7
2	3	6	9	4	5	9	2	6	9	1	5	6
3	4	7	9	2	5	7	3	4	8	2	4	7
4	2	7	9	3	7	8	2	5	6	2	4	8
5	4	8	9	2	8	9	3	5	9	1	5	7
6	3	7	8	4	5	7	2	7	9	4	5	9
7	2	7	9	5	8	9	4	6	8	3	5	7
8	3	6	9	3	6	8	3	6	8	4	7	8
9	2	6	8	2	7	9	3	6	9	3	5	6
10	4	7	8	2	6	8	2	5	7	2	4	7
11	3	6	8	3	7	9	2	6	9	3	5	6
12	4	7	9	2	5	9	3	5	7	3	6	9
13	3	6	9	4	6	8	2	4	6	3	5	7
14	4	5	9	2	7	9	4	6	8	2	4	7
15	3	7	8	4	6	9	3	7	9	3	6	7
16	2	5	9	3	7	8	3	6	7	2	6	7
17	2	8	9	4	7	9	2	5	9	4	6	8
18	4	6	9	2	7	9	3	5	7	2	4	7

When compiling the questionnaire, four parameters (criteria) were selected to assess yarn quality in terms of the presence of appearance defects. For each criterion, three fixed values of a single indicator were set. The expert had to rank each of these criteria according to a nine-point system. This is due to the fact that criteria influencing yarn quality may not only be absent or present but may also take a quantitative expression subject to a certain functional dependence, which in turn influences yarn quality assessment. Therefore, to construct a generalized index of

the package's quality according to its shape, it is necessary to have as much complete information as possible for each criterion. For this purpose, the average rank values for each fixed value were calculated. These values were paired with the corresponding values of the criteria used for interpolation by a straight-line equation based on the least squares method. The functions obtained as a result of interpolation performed using the built-in MS Excel function are shown in Table 5.

Table 5

Sequence number	Name of a single indicator	Equations of dependence of the score assessment $Y_i$ on a single indicator $X_i$	
		20 tex yarns	50 tex yarns
1	Number of thickenings per 100 meters of yarn	$Y_1=0,05x_1-0,66$	$Y_1=0,04x_1+1,4$
2	Number of thinnings per 100 meters of yarn	$Y_2=0,15x_2+0,98$	$Y_2=0,14x_2+1,88$
3	Number of knots per 100 meters of yarn	$Y_3=0,03x_3-0,1$	$Y_3=0,03x_3+1,13$
4	Number of specks per 100 meters of yarn	$Y_4=0,2x_4+4,56$	$Y_4=0,3x_4+1,48$

For this purpose, the coefficient of concordance or agreement of experts is calculated [11].

As a result of the calculation for the conducted survey, the value of the coefficient of concordance was obtained:  $W=0.86$ , which allows us to consider the experts' opinions as co-consistent.

In order to construct a comprehensive indicator characterizing yarn quality by appear-

ance defects, it is necessary to establish the desirability of taking into account each of the single indicators. Since the desirability of each indicator is not specified by experts, the average value of the indicator scores can be used as such a characteristic. Table 6 summarizes these values. Then the weighting coefficients of indicators were calculated according to the methodology given in [11].



Table 6

Sequence number	The name of a single indicator	Scoring of the accounting of the indicator	
		20 tex yarns	50 tex yarns
1	Number of thickenings per 100 meters of yarn	5,04	6,11
2	Number of thinnings per 100 meters of yarn	5,35	5,96
3	Number of knots per 100 meters of yarn	3,52	5,43
4	Number of specks per 100 meters of yarn	6,89	4,48

The weighting coefficient of the indicator is equal to:

$$m_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (1)$$

where  $m_i$  – weighting coefficient of the  $i$ -th

indicator;  $a_i$  – score assessment of the  $i$ -th indicator;  $n$  – the number of indicators that can be taken into account when assessing product quality.

The obtained weighting coefficients are presented in Table 7.

Table 7

№	The name of a single indicator	Weighting coefficient	
		20 tex yarns	50 tex yarns
1	Number of thickenings per 100 meters of yarn	0,24	0,28
2	Number of thinnings per 100 meters of yarn	0,26	0,27
3	Number of knots per 100 meters of yarn	0,17	0,25
4	Number of specks per 100 meters of yarn	0,33	0,20

A comprehensive assessment of product quality can be obtained by the weighted average method [11]. The weighted average indicator is constructed as a dependence, the arguments of which are quality indicators and their weighting parameters:

$$Q = F(m_i, q_i), \quad (2)$$

where  $m_i$  – weighting coefficient of the  $i$ -th indicator;  $q_i$  – relative value.

The relative value  $q_i$  is chosen based on the meaning of the indicator. If the indicator is positive, i.e. quality improves with its growth, then

For yarns of 20 tex

$$Q = \frac{0,24 \cdot 50}{0,05X_1 - 0,66} + \frac{0,26 \cdot 10}{0,15X_2 + 0,98} + \frac{0,17 \cdot 50}{0,03X_3 - 0,1} + \frac{0,33 \cdot 5}{0,2X_4 + 4,56}. \quad (4)$$

For yarns of 50 tex

$$Q = \frac{0,28 \cdot 50}{0,04X_1 + 1,4} + \frac{0,27 \cdot 10}{0,14X_2 + 1,88} + \frac{0,25 \cdot 50}{0,03X_3 + 1,13} + \frac{0,2 \cdot 5}{0,3X_4 + 1,48}. \quad (5)$$

$$q_i = X_i / X_0, \quad (3)$$

where  $X_i$  – value of the  $i$ -th quality indicator of the evaluated product;  $X_0$  – is the value of the  $i$ -th basic indicator; and if the indicator is negative, then by the inverse relationship.

Based on the data in Tables 5, and 7, it is possible to express a complex quality indicator. It will be equal to the sum of indicators, because each of the indicators affects the quality of the product regardless of the value of the other indicator. The value of the basic indicator is set as the lower limit of the scale on which the parameters were measured.

The greater the value of this indicator, the higher the quality of the controlled pack. It should be noted that the criteria values are always greater than zero. The stated methodology for determining the complex indicator is an algorithm for its calculation, which was implemented in software.

## CONCLUSIONS

1. It has been found that the yarn appearance quality assessment instruments available on the market are expensive, complex and not suitable for use in production conditions.

2. The use of a yarn image digitized by scanning on a black board together with application software allows to obtain a simple and affordable instrumental method of yarn appearance evaluation.

3. Equations of dependence of the score evaluation on the corresponding unit indicators are obtained by the method of expert evaluations.

4. On the basis of the qualimetric method of quality assessment an algorithm for calculation of the complex index characterizing the yarn appearance was developed.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Mahmuda Akter, Md. Mashiur Rahman Khan.* The effect of stitch types and sewing thread types on seam strength for cotton apparel // International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 7, July-2015 [https://www.researchgate.net/publication/330986073\\_The\\_effect\\_of\\_stitch\\_types\\_and\\_sewing\\_thread\\_types\\_on\\_seam\\_strength\\_for\\_cotton\\_apparel](https://www.researchgate.net/publication/330986073_The_effect_of_stitch_types_and_sewing_thread_types_on_seam_strength_for_cotton_apparel)

2. *Bhakar S., Dudek S.K., Muse S., Sharman L., Hortop E.* Textiles, Patterns and Technology: Digital Tools for the Geometric Analysis of Cloth and Culture // TEXTILE Cloth and Culture. Volume 2, 2004. Issue 3. Pages 308...327. – <https://doi.org/10.2752/147597504778052702>

3. *Li Ch., Liu Zh., Dong Y., Tang Sh., Weng D.* Fabric defect detection based on deep-handcrafted feature and weighted low-rank matrix representation // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. Volume 16, 2021. – <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/15589250211008453>

4. *Yapi D., Allili MS., Baaziz N.* Automatic fabric defect detection using learning-based local textural distributions in the contourlet domain. IEEE Trans Autom Sci Eng 2018; 15(3): 1014–1026. Crossref. [https://www.researchgate.net/publication/316949051\\_](https://www.researchgate.net/publication/316949051_Automatic_Fabric_Defect_Detection_Using_Learning-Based_Local_Textural_Distributions_in_the_Contourlet_Domain)

[Automatic\\_Fabric\\_Defect\\_Detection\\_Using\\_Learning-Based\\_Local\\_Textural\\_Distributions\\_in\\_the\\_Contourlet\\_Domain](https://www.researchgate.net/publication/316949051_Automatic_Fabric_Defect_Detection_Using_Learning-Based_Local_Textural_Distributions_in_the_Contourlet_Domain)

5. *Rasheed A., Zafar B., Rasheed A., Nouman A., Sajid M., Hanif Dar S., Habib U., Shehryar T., Tariq Mahmood M.* Fabric Defect Detection Using Computer Vision Techniques: A Comprehensive Review // Mathematical Problems in Engineering Volume 2020, Article ID 8189403, 24 p. – <https://www.hindawi.com/journals/mppe/2020/8189403/>

6. *Rudovsky P.N., Nuriyev M.N., Recebov I.S.* Preparation of flax roving for spinning in electrochemical activated solutions // Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2019, 27(6). P. 34–38. – <http://www.fibtex.lodz.pl/issue138.html>

7. *Рудовский П.Н., Белова И.С.* Адгезионные свойства клеевой пряжи // Химия волокон. 2022. 53(6). С. 418...420.

8. *Alper Selver M, Avşar V, Özdemir H.* Textural fabric defect detection using statistical texture transformations and gradient search // J Text Inst 2014; 105(9): 998...1007. – <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405000.2013.876154>

9. *Sakhare K., Kulkarni A., Kumbhakarn M. et al.* Spectral and spatial domain approach for fabric defect detection and classification // Proceedings of the 2015 international conference on industrial instrumentation and control (ICIC 2015), Pune, India, 28–30 May 2015, P. 640–644. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/7150820>

10. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* New geometrical model of woven fabric taking into account the change of its form, size and lateral bending // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2021, 29(2). P. 20...24. – <http://www.fibtex.lodz.pl/article2279.html>

11. *Елохов А.М., Арбузова Т.А.* Управление качеством. Часть I. Основы квалиметрии: учебное пособие. В 2 ч. 3-е изд., перераб. и доп. Пермь: ПГНИУ, 2020. 111 с. – <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/eloxov-arbuzova-upravlenie-kachestvom-osnovyqualimetrii-ch1.pdf>

## REFERENCES

1. *Mahmuda Akter, Md. Mashiur Rahman Khan.* The effect of stitch types and sewing thread types on seam strength for cotton apparel // International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 7, July-2015. – [https://www.researchgate.net/publication/330986073\\_The\\_effect\\_of\\_stitch\\_types\\_and\\_sewing\\_thread\\_types\\_on\\_seam\\_strength\\_for\\_cotton\\_apparel](https://www.researchgate.net/publication/330986073_The_effect_of_stitch_types_and_sewing_thread_types_on_seam_strength_for_cotton_apparel)

2. *Bhakar S., Dudek S.K., Muse S., Sharman L., Hortop E.* Textiles, Patterns and Technology: Digital Tools for the Geometric Analysis of Cloth and Culture // TEXTILE Cloth and Culture Volume 2, 2004. Issue 3 Pages 308...327. – <https://doi.org/10.2752/147597504778052702>

3. *Li Ch., Liu Zh., Dong Y., Tang Sh., Weng D.* Fabric defect detection based on deep-handcrafted fea-

ture and weighted low-rank matrix representation // Journal of Engineered Fibers and Fabrics Volume 16, 2021. – <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/15589250211008453>

4. *Yapi D., Allili MS., Baaziz N.* Automatic fabric defect detection using learning-based local textural distributions in the contourlet domain. *IEEE Trans Autom Sci Eng* 2018; 15(3): 1014–1026. Crossref. [https://www.researchgate.net/publication/316949051-Automatic\\_Fabric\\_Defect\\_Detection\\_Using\\_Learning-Based\\_Local\\_Textural\\_Distributions\\_in\\_the\\_Contourlet\\_Domain](https://www.researchgate.net/publication/316949051-Automatic_Fabric_Defect_Detection_Using_Learning-Based_Local_Textural_Distributions_in_the_Contourlet_Domain)

5. *Rasheed A., Zafar B., Rasheed A., Nouman A., Sajid M., Hanif Dar S., Habib U., Shehryar T., Tariq Mahmood M.* Fabric Defect Detection Using Computer Vision Techniques: A Comprehensive Review // *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020, Article ID 8189403, 24 p. – <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/8189403/>

6. *Rudovsky P.N., Nuriyev M.N., Recebov I.S.* Preparation of flax roving for spinning in electrochemical activated solutions // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2019, 27(6). P. 34–38. – <http://www.fibtex.lodz.pl/issue138.html>

7. *Rudovsky P.N., Belova I.S.* Adhesion Properties of Glutinous Yarn // *Fibre Chemistry*, 2022, 53(6). P. 418...420.

8. *Alper Selver M., Avşar V., Özdemir H.* Textural fabric defect detection using statistical texture transfor-

mations and gradient search. *J Text Inst* 2014; 105(9): 998–1007. – <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405000.2013.876154>

9. *Sakhare K., Kulkarni A., Kumbhakarn M. et al.* Spectral and spatial domain approach for fabric defect detection and classification. In: *Proceedings of the 2015 international conference on industrial instrumentation and control (ICIC 2015)*, Pune, India, 28–30 May 2015, P. 640–644. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/7150820>

10. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* New geometrical model of woven fabric taking into account the change of its form, size and lateral bending // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2021, 29(2). P. 20...24. – <http://www.fibtex.lodz.pl/article2279.html>

11. *Elokhov A.M., Arbuzova T.A.* Quality control. Part I. Basics of qualimetrics: textbook. 2 hours. 3rd ed., revised. and additional. Perm: Perm State National Research University, 2020. 111 p. – [http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebniepo\\_sobiya/eloxov-arbuzova-upravlenie-kachestvom-osnovyqualimetrii-ch1.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebniepo_sobiya/eloxov-arbuzova-upravlenie-kachestvom-osnovyqualimetrii-ch1.pdf).

Рекомендована кафедрой инженерии и прикладных наук Азербайджанского государственного экономического университета. Поступила 08.08.23.

УДК 691.175.5/8

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_71

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОНОНИТИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРКЕТОНКЕТОНА\*

### STUDY OF THE PROPERTIES OF MONOFILAMENT BASED ON POLYETHERKETONEKETONE

*А.Л. СЛОНОВ<sup>1,2</sup>, И.В. МУСОВ<sup>1,2</sup>, А.А. ЖАНСИТОВ<sup>1,2</sup>, Г.О. МОЛОКАНОВ<sup>2</sup>,  
Е.В. РЖЕВСКАЯ<sup>2</sup>, И.Н. ФОМИЧЕВА<sup>1</sup>, С.Ю. ХАШИРОВА<sup>1,2</sup>*

*A.L. SLONOV<sup>1,2</sup>, I.V. MUSOV<sup>1,2</sup>, A.A. ZHANSITOV<sup>1,2</sup>, G.O. MOLOKANOV<sup>2</sup>,  
E.V. RZHEVSKAYA<sup>2</sup>, I.N. FOMICHEVA<sup>1</sup>, S.Yu. KHASHIROVA<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Тулский государственный университет,

<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

<sup>1</sup>Tula state university,

<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian state university named after H.M. Berbekov)

E-mail: azamatslonov@yandex.ru

***Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) благодаря высокой термостойкости и прочности является перспективным материалом для текстильных технологий. В статье приведены результаты исследования ПЭКК с соотно-***

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке и инновациям Тульской области в рамках договора № 10 от 09.07.2022 «Разработка высокоэффективной импортозамещающей технологии производства высокотехнологичного полиэфиркетонкетона с длительным сроком службы».

*шением терефталоил- и изофталоилхлорида 60/40. Изучены физико-механические свойства стандартных образцов и мононитей на основе ПЭКК. Выявлено, что повышение температуры испытания приводит к значительному снижению упруго-прочностных свойств и повышению относительного удлинения. Показано, что растяжение мононитей при различных температурах сопровождается пластической деформацией и ориентационным упрочнением. Установлено, что ориентация мононитей ПЭКК при температурах, близких к температуре стеклования, приводит к их кристаллизации.*

*Polyetherketoneketone (PEKK) is a promising material for textile technologies due to its high heat resistance and strength. The article presents the results of a study of polyetherketoneketone (PEKK) with a 60/40 ratio of terephthaloyl- and isophthaloyl chloride. The physical and mechanical properties of standard samples and monofilaments based on PEKK were studied. It was revealed that increasing the test temperature leads to a significant decrease in elastic-strength properties and an increase in elongation. It has been shown that stretching of monofilaments at different temperatures is accompanied by plastic deformation and orientational hardening. It has been established that the orientation of PEKK monofilaments at temperatures close to the glass transition temperature leads to their crystallization.*

**Ключевые слова:** полиэфиркетонкетон, мононити, физико-механические свойства, теплофизические свойства.

**Keywords:** polyetherketoneketone, monofilament, mechanical properties, thermophysical properties.

#### *Введение*

В настоящее время суперконструкционные полимеры благодаря комплексу высоких механических и термических свойств находят широкое применение в различных отраслях промышленности [1]. Особый интерес среди суперконструкционных термопластов представляет класс полиарилэфиркетонов (ПАЭК), различающихся соотношением эфирных и кетонных групп в своей структуре. Наиболее широкое распространение среди них получили полиэфиркетон (ПЭК), полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) и полиэфиркетонкетон (ПЭКК). Данные материалы и композиты на их основе широко используются в медицине [2-4] и авиакосмической отрасли [5-8].

Получение изделий из ПАЭК возможно всеми известными способами [9], включая 3D печать [10-12]. Также особый интерес представляет использование ПАЭК в виде нитей для текстильных технологий, а

именно технического плетения и 3D ткачества [13, 14].

На сегодняшний день среди ПАЭК для получения филаментов различного назначения наиболее широко используется ПЭЭК. В частности, нити из ПЭЭК выпускаются в виде моно- и мультифиламента, а также штапельного волокна. Благодаря химической и термической стойкости они применяются в композиционных материалах, кабельной промышленности и в медицинских изделиях [15]. Свойства нитей из ПЭЭК в значительной мере зависят от степени и температуры вытяжки. В частности, в работе [16] обнаружено, что с увеличением температуры вытяжки увеличивается степень кристалличности, а также прочность и модуль упругости мононити из ПЭЭК. Установлено, что оптимальная температура вытяжки 200 °С. В работе [17] сообщается, что существенное влияние на свойства волокон из ПЭЭК оказывает степень ориентации и кристалличность, при-

чем зачастую улучшения свойств не удается достичь только за счет отжига без ориентации [18]. Волокна ПЭЭК могут применяться для получения высокопрочных тканей. Сообщается, что они имеют более высокую прочность и термостабильность по сравнению с арамидными тканями [19].

Несмотря на достоинства ПЭЭК, в последнее время все большую популярность в различных областях производства завоевывает ПЭКК благодаря возможности варьирования его свойств с помощью изменения соотношения сомономеров – терефталоилхлорида (ТФХ) и изофталоилхлорида (ИФХ). В зависимости от содержания последнего значительно снижаются температуры плавления и кристаллизации, а также скорость кристаллизации, что повышает технологичность материала. Указанные свойства особенно востребованы в аддитивных технологиях, так как пониженные температуры переработки и меньшая скорость кристаллизации позволяют повысить качество печати. В частности, марки с соотношением ТФХ и ИФХ 60/40 используются для изготовления филаментов для 3D печати [20-22]. Также ПЭКК широко применяется в качестве связующего для композитных материалов с углеродными и стеклянными волокнами [23-26].

Существует ряд патентов, описывающих получение волокон из расплава [27] и раствора ПЭКК [28], а также композитных волокон с минеральными нанотрубками [29]. Однако в отличие от ПЭЭК нити на основе ПЭКК недостаточно изучены и освещены в литературе несмотря на их перспективность не только для 3D печати, но и для текстильных технологий, в частности для 3D ткачества. В связи с этим представляет интерес исследование механических свойств мононитей из ПЭКК и выявление особенностей их деформации и ориентации при различных температурах.

#### *Материалы и методы исследования*

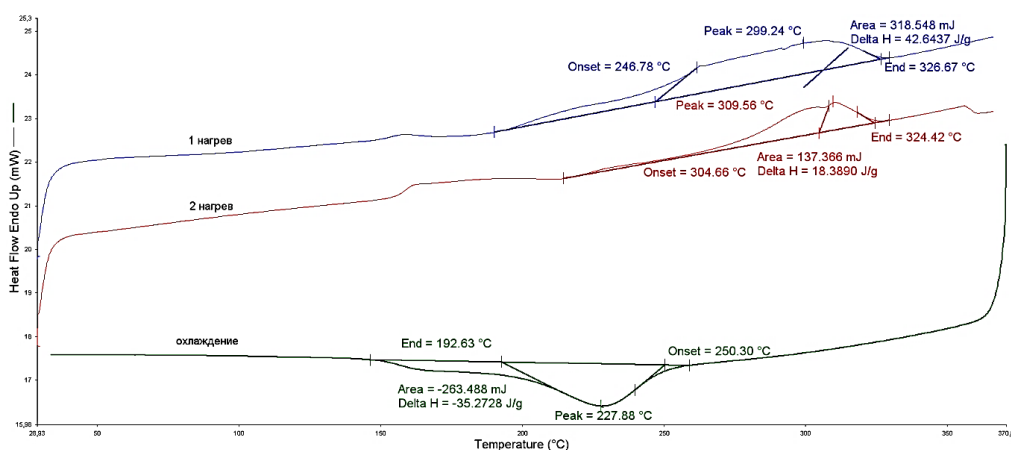
В качестве объекта исследования взят ПЭКК с соотношением ТФХ и ИФХ 60/40 марки СС-5801 (Китай). Мононить со средним диаметром 450-550 мкм получена методом экструзии на двухшнековом микроэкструдере Twin Screw 10 (L/D = 20)

фирмы Twin Tech (Великобритания) при максимальной температуре экструзии 360 °С. Стандартные образцы для испытаний в виде лопаток получены методом литья под давлением на термопластавтомате SZS-20 компании Haitai Machinery (Китай) при температуре материального цилиндра 350-360 °С и температуре формы 180 °С. Механические испытания на одноосное растяжение выполнены на универсальной испытательной машине Gotech Testing Machine AI-7000-LU (Тайвань). Температуры плавления и кристаллизации определялись методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 4000 фирмы PerkinElmer (США) в атмосфере азота при скорости нагрева и охлаждения 10 °С/мин.

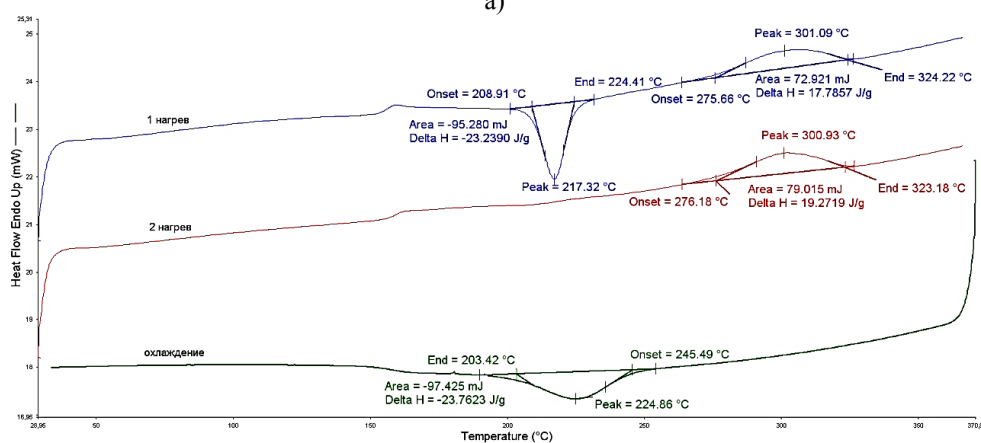
#### *Результаты и их обсуждение*

Исследования методом ДСК показали, что промышленный порошок ПЭКК не имеет теплового эффекта холодной кристаллизации, что говорит о его преимущественно кристаллической структуре (рис. 1, а).

В случае мононити наблюдается пик холодной кристаллизации при температуре 217 °С, указывающий на аморфную структуру получаемого монофиламента (рис. 1, б). Широкие пики плавления и кристаллизации порошка ПЭКК свидетельствуют о наличии большого числа кристаллитов различной степени совершенства. Данный факт в первую очередь обусловлен химической структурой ПЭКК, содержание в которой большого количества изофталевых компонентов приводит к затруднению кристаллизационных процессов и образованию низкоплавких кристаллитов. Также на это может влиять способ высаживания порошка, его термическая предыстория и молекулярно-массовое распределение. У мононити тепловые эффекты плавления и кристаллизации более узкие, что, по-видимому, связано с хорошей гомогенизацией материала в процессе экструзии и равномерным охлаждением. В остальном порошок и мононить имеют близкие значения теплофизических свойств (табл. 1).



а)



б)

Рис. 1

Т а б л и ц а 1

ПЭКК	T <sub>c</sub> , °C		T <sub>кр</sub> , °C		T <sub>пл</sub> , °C		ΔH <sub>пл</sub> , Дж/г	
			холод.	из расплава	1 круг	2 круг	1 круг	2 круг
	1 круг	2 круг						
Порошок	154,3	158,9	-	227,9	299,2	309,6	42,6	18,4
Мононить	156,2	159,4	217,3	225,2	301,1	300,9	17,8	19,3

Исследование механических свойств стандартных образцов ПЭКК проводилось при температурах 22, 120 и 180 °C. Указанные температуры выбраны исходя из термических свойств ПЭКК: интерес представля-

ли испытания при комнатной температуре и температурах незначительно ниже и выше его температуры стеклования. Полученные показатели свойств представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Температура испытания, °C	Модуль упругости при растяжении, МПа	Предел текучести при растяжении, МПа	Прочность при разрыве, МПа	Удлинение, %
22	2050	85,8	60,0	68,2
120	1620	18,0	15,9	207,5
180	639	0,25	0,12	343,3

Испытания при комнатных температурах показали, что ПЭКК обладает высокой прочностью и относительной деформацией.

Повышение температуры испытания до 120 °C приводит лишь к незначительному снижению модуля упругости при растяже-

нии (примерно на 26 %), что, очевидно, связано с пребыванием материала по-прежнему в стеклообразном состоянии. Вместе с этим наблюдается критическое падение предела текучести и прочности при разрыве (примерно на 75 %). По-видимому, в пределах обратимых деформаций ПЭКК сохраняет способность выдерживать достаточно большие нагрузки, чем обусловлен высокий модуль упругости, тогда как за пределами упругих деформаций ослабление межмолекулярных связей в результате повышения температуры приводит к значительному снижению нагрузки для начала пластического течения. Дальнейшее увеличение температуры выше  $T_c$  (до 180 °С) также сопровождается снижением модуля упругости (в 2,5 раза), предела текучести и прочности, которые доходят до очень низких значений. При этом видно, что относительная деформация закономерно увеличивается.

Помимо стандартных образцов испытаны мононити ПЭКК со средним диаметром 450-550 мкм. В качестве основных механических свойств определялись относительное удлинение и разрывная нагрузка, на основе которой рассчитывалось условное и истинное разрывное напряжение. Возникающий при испытаниях пластичных материалов процесс холодного течения сопровождается образованием шейки и уменьшением исходного диаметра нити. Таким образом, условное напряжение рассчитывалось как отношение нагрузки к исходной площади поперечного сечения мононити, а для истинного напряжения учитывалась текущая площадь сечения образца в момент разрыва. Также исследовалось значение отпуска материала, для чего мононить была выдержана при температуре выше  $T_c$  (при 180 °С) в течение 2 часов с целью снижения внутренних напряжений. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Температура испытания, °С	Разрывная нагрузка, Н	Условное разрывное напряжение, МПа	Истинное разрывное напряжение, МПа	Удлинение, %
22	25,3	107,2	330,7	315,2
22 (отпуск при 180 °С)	21,5	131,5	386,5	329,0
120	16,1*	81,1	298,6	448,1
180	9,6*	42,5	177,2	456,4

Из табл. 3 видно, что мононить ПЭКК, испытанная при 22 °С, обладает достаточно высокой прочностью и относительным удлинением, при этом истинное напряжение в 3 раза превосходит условное напряжение при разрыве. Отпуск мононити при 180 °С приводит к повышению прочности, однако его влияние не столь существенно. Повышение температуры испытания до 120 °С и выше сопровождается значительным увеличением относительного удлинения без разрушения образца (до 450 %, что соответствует максимально возможному перемещению зажимов разрывной машины), в результате чего не представляется возможным определить разрывную нагрузку. В связи с этим для данных образцов в табл. 3 приведены значения максимальной нагрузки, на основе которых рассчитывалось максимальное условное

напряжение и максимальное истинное напряжение. Видно, что повышение температуры до 180 °С приводит к снижению указанных свойств.

Из рис. 2 видно, что характер деформационных кривых мононитей ПЭКК, испытанных при различных температурах, аналогичен: при достижении определенного напряжения происходит его резкое снижение вследствие начала развития необратимых деформаций; после области холодного течения, которая характеризуется увеличением деформации при постоянном напряжении, следует равномерное возрастание нагрузки, которое связано с ориентацией макромолекул. При испытании выше  $T_c$  (при 180 °С) наблюдается значительное снижение напряжения, что связано с переходом материала в высокоэластичное состояние.

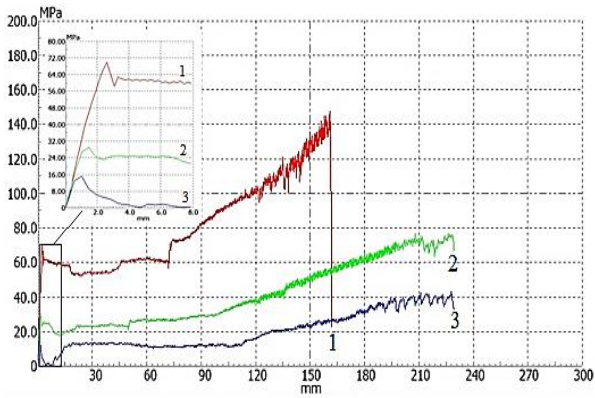


Рис. 2

Исследование методом микроскопии растянутых нитей показывает, что с повышением температуры испытания образцы становятся все более непрозрачными (рис. 3: исходная мононить (а) и испытанная при 22 °С (б); 22 °С (после отжига при 180 °С) (в); 120 °С (г); 180 °С (д)). Данный эффект может быть обусловлен образованием микродефектов при растяжении, которые препятствуют прохождению света, а также кристаллизацией нитей вследствие ориентации макромолекул.

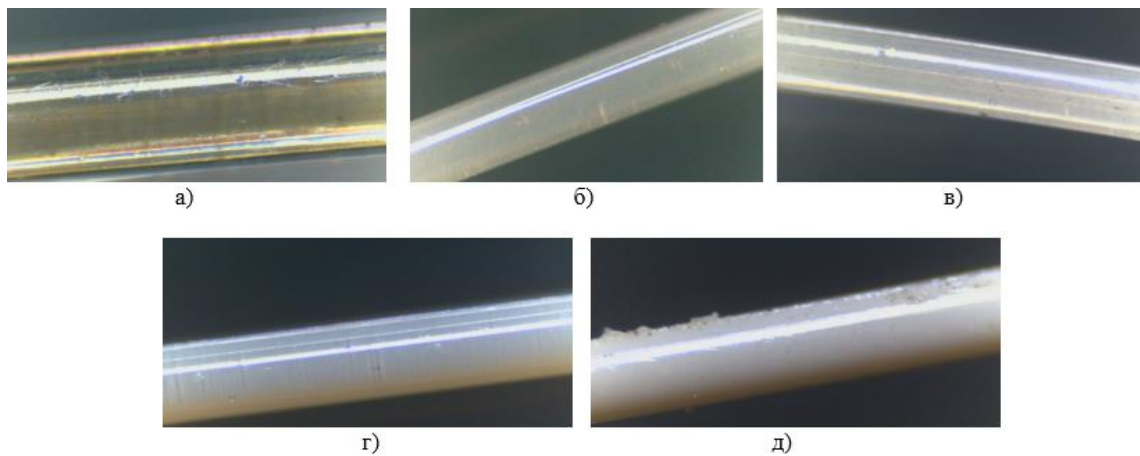


Рис. 3

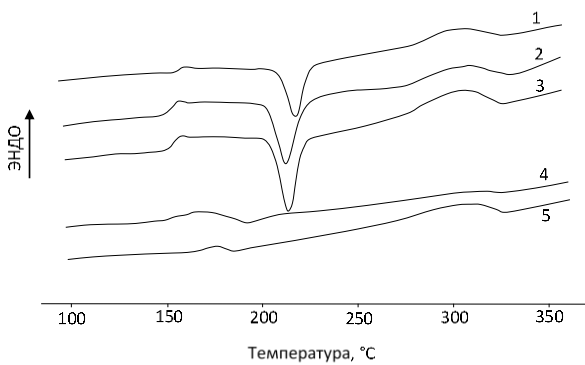


Рис. 4

указывает на их аморфное состояние (рис. 4: 1-3), следовательно, причиной их помутнения после растяжения являются преимущественно микропоры. При этом мононити, испытанные при 120 и 180 °С, не имеют экзотермического теплового эффекта, что говорит об их кристаллической структуре (рис. 4: 4-5).

Исследования методом ДСК показали, что мононити, испытанные при 22 °С, проявляют пик холодной кристаллизации, что

Таким образом, непрозрачность и белизна мононитей, помимо микродефектов, обусловлены кристаллизацией вследствие ориентации при повышенных температурах. Примечательно, что образец, растянутый при 180 °С, имеет значительно более высокую температуру стеклования (табл. 4).

Таблица 4

Температура испытания, °С	Разрывная нагрузка, Н	Условное разрывное напряжение, МПа	Истинное разрывное напряжение, МПа	Удлинение, %
22	25,3	107,2	330,7	315,2
22 (отпуск при 180 °С)	21,5	131,5	386,5	329,0
120	16,1*	81,1	298,6	448,1
180	9,6*	42,5	177,2	456,4



Растянутые при различных температурах нити были испытаны повторно при 22°C с целью изучения влияния условий ориентации на конечные механические свойства. На рис. 5 (1 – 22 °C; 2 – 22 °C (после отжига при 180 °C); 3 – 120 °C; 4 – 180 °C) видно, что испытанные образцы имеют близкие значения предела прочности и аналогичный характер большинства деформационных кривых: на первом этапе наблюдается линейный участок деформации, за которым следует предел текучести, где происходит уменьшение угла наклона кривой, далее наблюдается возрастание напряжения. Отсутствие плато холодного течения после предела текучести свидетельствует о хорошей степени ориентации [30]. Примечательно, что предварительно растянутый при 180 °C образец имеет значительно большее удлинение, тогда как остальные характеризуются близкими значениями предельной деформации. Повидимому, ориентация при 180 °C позволяет получить мононить с меньшими внутренними напряжениями, что повышает ее деформативность.

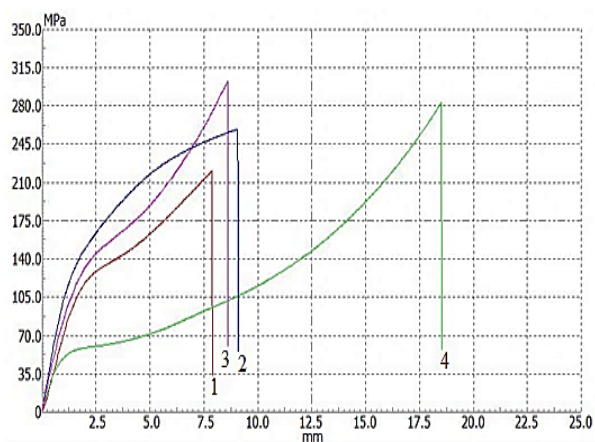


Рис. 5

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что прочность ПЭКК по сравнению с модулем упругости в большей степени зависит от температуры испытания. Мононити, полученные методом экструзии, имеют преимущественно аморфную структуру и характеризуются высокой пластичностью и высоким раз-

рывным напряжением. Повышение температуры испытания приводит к значительному возрастанию удлинения и ориентации волокон. Ориентированные при повышенных температурах (120 и 180 °C) мононити кристаллизуются, что приводит к их побелению. Ориентированная при 180 °C мононить имеет более высокие температуру стеклования и относительное удлинение при разрыве.

Полученные данные позволяют конкретизировать особенности влияния температуры на свойства мононитей из ПЭКК и показывают возможность направленного воздействия на характеристики моноволокон. Дальнейшие исследования в этом направлении послужат основой для разработки технологии изготовления мононитей на основе суперконструкционных полимеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с.
2. Alqurash, H., Khurshid, Z., Syed A.U.Y., Rashid Habib S., Rokaya D., Zafar M.S. Polyetherketoneketone (PEKK): An Emerging Biomaterial for Oral Implants and Dental Prostheses // Journal of Advanced Research. 2021, 28. P. 87...95.
3. Dua R., Sharufa O., Terry J., Dunn W., Khurana I., Vadivel J., Zhang Y., Donahue H.J. Surface modification of Polyether-ether-ketone for enhanced cell response: a chemical etching approach // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023, 11, 1202499. – DOI: 10.3389/fbioe.2023.1202499.
4. Lommen J., Schorn L., Sproll C., Haussmann J., Kubler N. R., Budach W., Rana M., Tamaskovics B. Reduction of CT Artifacts Using Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketoneketone (PEKK), Polyphenylsulfone (PPSU), and Polyethylene (PE) Reconstruction Plates in Oral Oncology // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2022, 80. P. 1272...1283. – DOI: 10.1016/j.joms.2022.03.004.
5. Zhansitov A.A., Slonov A.L., Shetov R.A., Baikaziev A.E., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Khashirova S.Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3D printing // Fibre Chemistry. 2018, 49 (6). P. 414...419. – DOI: 10.1007/s10692-018-9911-5.
6. Ling X., Jing X., Zhang Ch., Chen S. Polyether Ether Ketone (PEEK) Properties and Its Application Status 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 453 012080.
7. Kalra S., Munjal B. S., Singh V. R. et al. Investigations on the suitability of PEEK material under

space environment conditions and its application in a parabolic space antenna // *Advances in Space Research*. 2019, 63(12). P. 4039-4045. – doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.006.

8. Nassir A., Birch R.S., Haldar A. Parametric Study of PEKK Based Fiber Metal Laminates Used in Aerospace Applications // *Engineering and Technology Journal*. 2023, 41(6). P. 1...14. – DOI: 10.30684/etj.2023.139472.1431.

9. Шахмурзова К.Т., Курданова Ж.И., Хаширова С.Ю., Беев А.А., Лигидов М.Х., Пахомов С.И., Мукитаев А.К. Полиэфиркетоны. Получение, свойства и применение // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2015. № 3 (58). С. 3...11.

10. Yi N., Davies R., Chaplin A., McCutcheon P., Ghita O. Slow and fast crystallising poly aryl ether ketones (PAEKs) in 3D printing: Crystallisation kinetics, morphology, and mechanical properties // *Additive Manufacturing*. 2021, 39, 101843. – doi.org/10.1016/j.addma.2021.101843.

11. Chen B., Wang Y., Berretta S., Ghita O. Poly Aryl Ether Ketones (PAEKs) and carbon-reinforced PAEK powders for laser sintering // *Journal of Materials Science*. 2017, 52. P. 6004...6019. – DOI 10.1007/s10853-017-0840-0.

12. Benedetti L., Brulé B., Decraemer N., Evans K.E., Ghita O. Evolution of PEKK crystallization measured in laser sintering // *Frontiers in Manufacturing Technology*. 2022, 2, 964450. – DOI: 10.3389/fmtec.2022.964450.

13. Корнилова Н.Л., Мирошниченко Д.А., Карева Т.Ю., Мусов И.В., Слонов А.Л., Хаширова С.Ю. Мононити из суперконструкционных термопластичных полимеров для переработки методами плетения и ткачества // *Пластические массы*. 2022, 9-10. С. 50...52. – <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2022-9-10-50-52>.

14. Мирошниченко Д.А., Корнилова Н.Л., Мусов И.В., Слонов А.Л., Хаширова С.Ю. Исследование упругодеформационных характеристик мононитей из суперконструкционных полимеров // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 5 (401). С. 65...71.

15. <https://swift-fiber.com/news/peek-monofilament-multifilament-and-peek-staple-fiber/>

16. Shekar R.I., Kotresh T.M., Damodhara Rao P.M., Kumar K. Properties of high modulus PEEK yarns for aerospace applications // *Journal of Applied Polymer Science*. 2009, 112. P. 2497...2510. – DOI 10.1002/app.29765.

17. Guo Zh., Xie J., Zhang Ch., Zheng Y., Jin L., Yang J., Zhao P. Large-scale control of morphology and tensile strength enhancement of PEEK fibers after post-treatment // *Journal of Materials Research and Technology*. 2023, 24. P. 2416...2427. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.142>.

18. Ouellette E.S., Gilbert J.L. Production and characterization of melt-spun Poly (Ether Ether Ketone) fibers for biomedical applications // *Polymer*. 2015, 63. P. 10...18.

19. Wang Ch., Luan J., Xu Zh., Zhao W., Zhang M. Preparation and properties of a novel, high-performance polyether ether ketone fabric // *High Performance Polymers*. 2017, 30(7). P. 1...9. – DOI: 10.1177/0954008317731135

20. <https://www.kimya.fr/en/product/filament-3d-peek-a/>

21. <https://www.3dxtech.com/products/peek/>

22. Paszkiewicz S., Lesiak P., Walkowiak K., Irska I., Miadlicki K., Królikowski M., Piesowicz E., Figiel P. The Mechanical, Thermal, and Biological Properties of Materials Intended for Dental Implants: A Comparison of Three Types of Poly(aryl-ether-ketones) (PEEK and PEKK) // *Polymers*. 2023, 15, 3706. – doi.org/10.3390/polym15183706.

23. Zhang M., Qian X., Ma K., Ma H., Zhang Y. Enhanced Interfacial Properties of High-Modulus Carbon Fiber Reinforced PEKK Composites by a Two-Step Surface Treatment: Electrochemical Oxidation Followed by Thermoplastic Sizing // *Applied Composite Materials*. 2022, 29. P. 745...764. – DOI: 10.1007/s10443-021-09995-8.

24. Alexandre M.A., Dantras E., Lacabanne C., Perez E., Franceschi S., Coudeyre D. Effect of PEKK oligomers sizing on the dynamic mechanical behavior of poly (ether ketone ketone)/carbon fiber composites // *Journal Applied Polymer Science*. 2020, 137, 48818. – DOI: 10.1002/APP.48818.

25. Irfan M.Sh., Alia R.A., Khan T., Cantwell W.J., Umer R. Time-temperature superposition of flexural creep response of carbon fiber PEKK composites manufactured using different prepreg stacking sequence // *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2021, 36(3), 089270572110517. – DOI: 10.1177/08927057211051773.

26. Nassir A., Birch R., Guan Zh. Manufacturing Process of S-Glass Fiber Reinforced PEKK Prepregs // *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018, 12 (10). P. 943...947.

27. Patent US20120015577A1. Polyetherketone-eketone nonwoven mats.

28. Patent WO2018087121A1 Process for the manufacture of polyetherketoneketone fiber.

29. Patent WO2010022796A1 High performance fibers.

30. Mai F., Tu W., Bilotti E. Peijs T. The Influence of Solid-State Drawing on Mechanical Properties and Hydrolytic Degradation of Melt-Spun Poly(Lactic Acid) (PLA) Tapes // *Fibers*. 2015, 3. P. 523...538. – doi:10.3390/fib3040523.

## REFERENCES

1. Mikhailin Y.A. Heat-Resistant Polymers and Polymeric Materials // *Professiya*: St. Petersburg, Russia, 2006. 624 p.

2. Alqurash, H., Khurshid, Z., Syed A.U.Y., Rashid Habib S., Rokaya D., Zafar M.S. Polyetherketone-eketone (PEKK): An Emerging Biomaterial for Oral Implants and Dental Prostheses // *Journal of Advanced Research*. 2021, 28. P. 87...95.

3. Dua R., Sharufa O., Terry J., Dunn W., Khurana I., Vadivel J., Zhang Y., Donahue H.J. Surface modification of Polyether-ether-ketone for enhanced cell response: a chemical etching approach // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2023, 11, 1202499. – DOI: 10.3389/fbioe.2023.1202499.
4. Lommen J., Schorn L., Sproll C., Hausmann J., Kubler N. R., Budach W., Rana M., Tamaskovics B. Reduction of CT Artifacts Using Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketoneketone (PEKK), Polyphenylsulfone (PPSU), and Polyethylene (PE) Reconstruction Plates in Oral Oncology // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2022, 80. P. 1272...1283. – DOI: 10.1016/j.joms.2022.03.004.
5. Zhansitov A. A., Slonov A. L., Shetov R. A., Baikaziev A. E., Shakhmurzova K. T., Kurdanova Zh. I., Khashirova S. Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3D printing // *Fibre Chemistry*. 2018, 49 (6). P. 414...419. – DOI: 10.1007/s10692-018-9911-5.
6. Ling X., Jing X., Zhang Ch., Chen S. Polyether Ether Ketone (PEEK) Properties and Its Application Status 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 453 012080.
7. Kalra S., Munjal B. S., Singh V. R. et al. Investigations on the suitability of PEEK material under space environment conditions and its application in a parabolic space antenna // *Advances in Space Research*. 2019, 63(12). P. 4039...4045. – doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.006.
8. Nassir A., Birch R.S., Haldar A. Parametric Study of PEKK Based Fiber Metal Laminates Used in Aerospace Applications // *Engineering and Technology Journal*. 2023, 41(6). P. 1...14. – DOI: 10.30684/etj.2023.139472.1431.
9. Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Khashirova S.Yu., Beev A.A., Ligidov M.Kh., Pakhomov S.I., Mikitaev A.K. Polyetherketones. Obtaining, properties and application // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2015. № 3 (58). C. 3...11.
10. Yi N., Davies R., Chaplin A., McCutcheon P., Ghita O. Slow and fast crystallising poly aryl ether ketones (PAEKs) in 3D printing: Crystallisation kinetics, morphology, and mechanical properties // *Additive Manufacturing*. 2021, 39, 101843. – doi.org/10.1016/j.addma.2021.101843.
11. Chen B., Wang Y., Berretta S., Ghita O. Poly Aryl Ether Ketones (PAEKs) and carbon-reinforced PAEK powders for laser sintering // *Journal of Materials Science*. 2017, 52. P. 6004...6019. – DOI 10.1007/s10853-017-0840-0.
12. Benedetti L., Brulé B., Decraemer N., Evans K.E., Ghita O. Evolution of PEKK crystallization measured in laser sintering // *Frontiers in Manufacturing Technology*. 2022, 2, 964450. – DOI:10.3389/fmtec.2022.964450.
13. Kornilova N.L., Miroshnichenko D.A., Kareva T.Yu., Musov I.V., Slonov A.L., Khashirova S.Yu. Monofilament from high performance hot-melt polymers for processing by weaving methods // *Plasticheskie massy*. 2022, 9-10. P. 50...52. – <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2022-9-10-50-52>.
14. Miroshnichenko D.A., Kornilova N.L., Musov I.V., Slonov A.L., Khashirova S.Yu. Investigation of elastic-deformation characteristics of monofilaments from of superstructural polymers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 5 (401). P. 65...71.
15. <https://swift-fiber.com/news/peek-monofilament-multifilament-and-peek-staple-fiber/>
16. Shekar R.I., Kotresh T.M., Damodhara Rao P.M., Kumar K. Properties of high modulus PEEK yarns for aerospace applications // *Journal of Applied Polymer Science*. 2009, 112. P. 2497...2510. – DOI 10.1002/app.29765.
17. Guo Zh., Xie J., Zhang Ch., Zheng Y., Jin L., Yang J., Zhao P. Large-scale control of morphology and tensile strength enhancement of PEEK fibers after post-treatment // *Journal of Materials Research and Technology*. 2023, 24. P. 2416...2427. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.142>.
18. Ouellette E.S., Gilbert J.L. Production and characterization of melt-spun Poly (Ether Ether Ketone) fibers for biomedical applications // *Polymer*. 2015, 63. P. 10...18.
19. Wang Ch., Luan J., Xu Zh., Zhao W., Zhang M. Preparation and properties of a novel, high-performance polyether ether ketone fabric // *High Performance Polymers*. 2017, 30(7). P. 1...9. – DOI: 10.1177/0954008317731135
20. <https://www.kimya.fr/en/product/filament-3d-pekk-a/>
21. <https://www.3dxtech.com/products/pekk/>
22. Paszkiewicz S., Lesiak P., Walkowiak K., Irksa I., Miadlicki K., Królikowski M., Piesowicz E., Figiel P. The Mechanical, Thermal, and Biological Properties of Materials Intended for Dental Implants: A Comparison of Three Types of Poly(aryl-ether-ketones) (PEEK and PEKK) // *Polymers*. 2023, 15, 3706. – doi.org/10.3390/polym15183706.
23. Zhang M., Qian X., Ma K., Ma H., Zhang Y. Enhanced Interfacial Properties of High- Modulus Carbon Fiber Reinforced PEKK Composites by a Two- Step Surface Treatment: Electrochemical Oxidation Followed by Thermoplastic Sizing // *Applied Composite Materials*. 2022, 29. P. 745...764. – DOI: 10.1007/s10443-021-09995-8.
24. Alexandre M.A., Dantras E., Lacabanne C., Perez E., Franceschi S., Coudeyre D. Effect of PEKK oligomers sizing on the dynamic mechanical behavior of poly (ether ketone ketone)/carbon fiber composites // *Journal Applied Polymer Science*. 2020, 137, 48818. – DOI: 10.1002/APP.48818.
25. Irfan M.Sh., Alia R.A., Khan T., Cantwell W.J., Umer R. Time-temperature superposition of flexural creep response of carbon fiber PEKK composites manufactured using different prepreg stacking sequence // *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2021, 36(3), 089270572110517. – DOI: 10.1177/08927057211051773.

26. Nassir A., Birch R., Guan Zh. Manufacturing Process of S-Glass Fiber Reinforced PEKK Prepregs // International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. 2018, 12 (10). P. 943...947.

27. Patent US20120015577A1. Polyetherketone-eketone nonwoven mats.

28. Patent WO2018087121A1. Process for the manufacture of polyetherketoneketone fiber.

29. Patent WO2010022796A1. High performance fibers.

30. Mai F., Tu W., Bilotti E. Peijs T. The Influence of Solid-State Drawing on Mechanical Properties and Hydrolytic Degradation of Melt-Spun Poly(Lactic Acid) (PLA) Tapes // Fibers. 2015, 3. P. 523...538. – doi:10.3390/fib3040523.

Рекомендована лабораторией технологии полимерных материалов и композитов Тульского государственного университета. Поступила 27.09.23.

УДК 544.777:723.5

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_80

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕКТИНОВ ЛЬНЯНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ФИТОСОРБЕНТОВ И КИНЕТИКУ АБСОРБЦИИ АЛКАЛОИДОВ

### INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF FLAX AND VEGETABLE PECTINS ON THE FORMATION OF HYBRID PHYTOSORBENTS AND ON THE KINETICS OF ALKALOID ABSORPTION

*C.B. АЛЕЕВА<sup>1</sup>, С.А. КОКШАРОВ<sup>2</sup>, Н.Л. КОРНИЛОВА<sup>1</sup>, Е.Н. НИКИФОРОВА<sup>1</sup>*

*S.V. ALEEVA<sup>1</sup>, S.A. KOKSHAROV<sup>2</sup>, N.L. KORNILOVA<sup>1</sup>, E.N. NIKIFOROVA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,

<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново)

<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,

<sup>2</sup>G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo)

E-mail: svetlana19750710@gmail.com

*Одним из трендов современного технологического развития является расширение использования биорефайнинга растительного сырья для получения ценных продуктов с высокой добавленной стоимостью. Пектиновые вещества способны обеспечить эффективную защиту от поражения микотоксинами азазетероциклической природы. Свойства коммерческих препаратов яблочного и цитрусового пектина сопоставлены с характеристиками пектиновых субстратов, выделенных из разных растительных тканей льняного стебля, из оболочки семян льна, биомассы ревеня и банановой кожуры. Химическое состояние полимера оценено с применением методов ИК-спектроскопии и вискозиметрии. Обсуждаются подходы к моделированию строения полимерной цепи и межмолекулярных ассоциатов в пектинах разной природы. Для оценки структурной организации пектин-монтмориллонитных композитов использован метод рентгеноструктурного анализа. Кинетику сорбции модельного соединения (теофиллин) исследовали методом абсорбционной спектроскопии. Анализ кинетических кривых проведен с применением комплекса взаимодополняющих диффузионных и кинетических моделей сорбции. Полученные характеристики позволяют сопоставить препараты по скорости массопереноса в гидратной оболочке сорбирующего зерна и в его объеме. Рассчитаны значения константы скорости хемосорбции и предельной сорбционной емкости препа-*

*ратов. Получены зависимости для описания влияния химического строения пектинов на удельное связывание алкалоидов при прохождении пищи в двенадцатиперстной кишке и оптимизации их дозировки для предотвращения интоксикации сельскохозяйственных животных и человека.*

*One of the trends of modern technological development is the expansion of the use of biorefining of plant raw materials to obtain valuable products with high added value. Pectins of plant raw materials are able to provide effective protection against the toxicity of azaheterocyclic mycotoxins. The properties of commercial preparations of apple and citrus pectin are compared with the characteristics of pectin substrates isolated from various plant tissues of the flax stem, from the shell of flax seeds, from the biomass of rhubarb and banana peel. The chemical state of the polymer was evaluated using IR spectroscopy and viscometry methods. Approaches to modeling the structure of the polymer chain and intermolecular associates in pectins of different nature are discussed. The method of X-ray diffraction analysis is used to assess the structural organization of pectin-montmorillonite composites. The sorption kinetics of the model compound (theophylline) was studied with absorption spectroscopy. The analysis of kinetic curves was carried out using a complex of complementary diffusion models and kinetic models of sorption. The obtained characteristics allow us to compare the preparations by the rate of mass transfer in the hydrate shell of the sorbing grain and in its volume. The values of the chemisorption rate constant and the maximum sorption capacity of the preparations are calculated. Dependences are obtained that allow describing the effect of the chemical structure of pectins and optimizing their dosage for the purpose of intoxication of farm animals and humans.*

**Ключевые слова:** пектины, состав галактуронатных звеньев, надмолекулярная структура, монтмориллонит, интеркаляция, кинетика абсорбции алкалоидов.

**Keywords:** pectins, composition of galacturonate units, supramolecular structure, montmorillonite, intercalation, kinetics of alkaloid absorption.

Технологии биорефайнинга направлены на углубленную конверсию растительного сырья и отходов его переработки для получения широкого круга востребованных в разных областях промышленности и медицины химических веществ и биополимеров, включая препараты наноцеллюлозы и нанолигнина [1...3]. Одним из ценных полимерных компонентов растительных материалов является пектин, для промышленного производства которого традиционно используются отходы переработки яблок и цитрусовых [4]. Поиск альтернативных источников пектина и направлений его применения находится в центре внимания ученых и технологов [5].

Актуальность настоящего исследования обусловлена стремительным ростом количества выявляемых микотоксинов (МТ),

опасных для здоровья человека и сельскохозяйственных животных. В начале тысячелетия к их числу относили 300 соединений [6], 5 лет назад – почти 400 [7], а в данный момент – более 500 [8]. Наиболее распространенной мерой инактивации МТ является использование адсорбентов, выбор которых осуществляется с учетом полярности нейтрализуемых соединений. Однако методы предварительного сорбционного связывания оказываются неэффективными в случае загрязнения продуктов широкой группой МТ, относящихся к классу алкалоидов. Строение некоторых соединений данной группы показано на рис. 1 (I – эрготамин; II – рокефортин; III – паксиллин; IV –  $\beta$ -афлатрем; V – терпендол С; VI – лингбиатоксин; VII – сакситоксин; VIII – анатоксин-а).

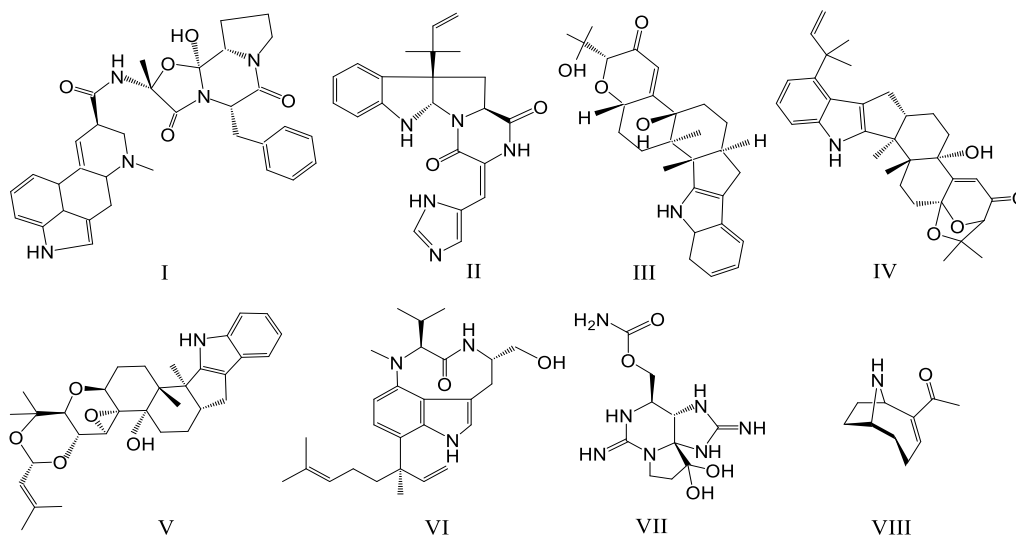


Рис. 1

Соединения I, II входят в число МТ, на содержание которых в кормах и продуктах питания в России введены нормативные ограничения [9]. Недавно выявлена большая группа производных индол-терпена (III–V) с разными формами треморгенного и нейротоксичного действия [10]. Широкий набор алкалоидов присутствует среди метаболитов токсигенных видов цианобактерий – сине-зеленых водорослей, вызывающих цветение водоемов [11]. Многие цианотоксины (VI–VIII) накапливаются в рыбе и моллюсках, представляя опасность в микро- и наномолярных концентрациях. Приведенные на рис. 1 формулы азагетероциклических соединений поясняют невозможность их предварительного сорбционного блокирования, поскольку при попадании в сильноокислую среду желудка они подвергаются реакции протонирования, обретают растворимость и без помех всасываются в стенки тонкого кишечника.

Эффективным средством связывания протонированных соединений являются пектинсодержащие растительные сорбенты [12, 13]. При разработке перспективных биодобавок для уменьшения негативного влияния МТ на работу внутренних органов животных и человека учитывается устойчивость пектиновых веществ к энзимолиту, что обуславливает их прохождение по пищеварительной системе транзитом [14, 15].

Основная сложность иммобилизации протонированных МТ заключается в том,

что пектины малоактивны в сильноокислой среде желудка (рН 1,5–2,5) в связи с подавлением диссоциации карбоксильных групп галактуронатного звена. Связывание алкалоидов необходимо провести за время прохождения пищи (кормовой массы) в дуоденальной зоне кишечника (двенадцатиперстная кишка) с благоприятным уровнем рН от 4,5 до 6,8 ед. Однако длина этого отдела кишечника у человека составляет всего 25–30 см, у коров – 120 см, а длительность сорбции не превышает 20 мин для человека и 30 мин для крупного рогатого скота.

Состояние пектиновых веществ в структуре растительных тканей можно охарактеризовать как трехмерную сетку, в которой соседние макромолекулы сшиты ионами  $Ca^{2+}$  в блоки, получившие образное наименование “egg-box” (яичный лоток) [16], а отходящие от них гибкие сегменты оплетают ортогонально ориентированные микрофибриллы целлюлозы с прилегающими к ним макромолекулами гелицеллюлоз. Размеры ячеек в надмолекулярной структуре пектинов определяются толщиной микрофибриллярных пучков, а плотность образования межмолекулярных сшивок обусловлена содержанием звеньев в кальций-пектатной форме.

При расщеплении клетчатки в ходе пищеварительного процесса пектин сохраняет нативную блочно-ячеистую структуру. Для ее изучения при выделении пектинов из растительного сырья мы использу-



ем метод энзимной деструкции их полимерного окружения и экстракцию дистиллированной водой с наложением ультразвуковой кавитации [17]. Идентификацию продуктов методом ИК-спектроскопии, сопоставление их химического строения и сорбционных свойств проводим в сравнении с коммерческими образцами яблочного и цитрусового пектина.

К числу широко применяемых средств блокирования МТ, принадлежащих к классу поликетидов, относятся алюмосиликатные сорбенты [18]. Для расширения спектра их применения актуален поиск методов повышения прочности сорбционных взаимодействий с токсинами в катионной форме. Перспективы данного направления могут быть реализованы за счет создания интеркалированных полимерсиликатных систем. Предпосылками для углубленного исследования этих процессов являются ранее установленные факты [19, 20] взаимного усиления действия компонентов пектин-монтмориллонитных комплексов в отношении неорганических и органических поллютантов.

В предыдущих исследованиях [21, 22] мы показали наличие взаимосвязи между химическим строением пектинов разной растительной природы и проявляемой ими сорбционной способностью в отношении катионных поллютантов. Цель настоящей работы состоит в систематизации данных о свойствах пектиновых веществ из нетрадиционного растительного сырья, в выявлении особенностей их сетчатой надмолекулярной структуры и ее влияния на формирование гибридных комплексов с монтмориллонитом, а также в экспериментальном и аналитическом исследовании закономерностей рН-регулируемого сорбционного связывания модельного алкалоида.

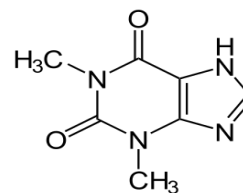
#### *Материалы и методы*

Исследования проведены с использованием восьми разновидностей пектиновых препаратов, в том числе коммерческих образцов яблочного (P<sub>A</sub>) и цитрусового (P<sub>C</sub>) пектина и полиуронидов, выделенных из альтернативного растительного сырья: P<sub>R</sub> – листья ревеня; P<sub>B</sub> – банановая кожура; P<sub>FF</sub> – льняное волокно; P<sub>FL</sub> – паренхима льна;

P<sub>FX</sub> – ксилема льна; P<sub>FS</sub> – оболочка семян льна (отруби). Условия выделения пектинов описаны в работах [17, 23...25].

Препарат монтмориллонита (Mt) приобретен у Sigma-Aldrich (США). Условия получения пектин-монтмориллонитных композитов описаны в работах [19, 25].

В качестве модельного азагетероциклического соединения использовали теофиллин в фармацевтической форме (производитель АО «Валента Фарм», Москва). Препарат имеет следующее строение:



(IX)

Количественное определение содержания в пектине галактуронатных звеньев в незамещенной (H), метоксилированной (M) и кальций-пектатной (K) формах осуществляли методом ИК-Фурье спектроскопии полимерных пленок в соответствии с ранее описанной методикой эксперимента [26].

Определение молекулярной массы пектинов осуществляли вискозиметрическим методом с использованием термостатируемого вискозиметра Уббелоде после предварительной декальцификации для разрушения межмолекулярных ассоциатов [17].

Исследование сорбционного связывания теофиллина проведено классическим методом сорбции из ограниченного объема в статических условиях при температуре 40 °С и регулируемых значениях рН 2,0 и 5,6 ед., моделирующих протекание процессов соответственно в желудке и дуоденальной зоне кишечника [23, 25]. Изменение концентрации теофиллина во время сорбционного эксперимента фиксировали на спектрофотометре при длине волны 270 нм.

Анализ кинетики сорбции теофиллина проведен с использованием диффузионных моделей Бойда, Морриса-Вебера и гелевой диффузии, а также кинетических моделей псевдо-первого порядка Лагергрена и псевдо-второго порядка Хо и Маккея, описание которых приведено в работе [27].

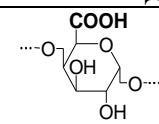
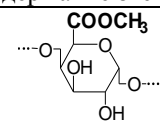
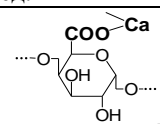
### Результаты и обсуждение

Основными показателями химического строения пектинов для моделирования их надмолекулярной структуры являются приведенные в табл. 1 данные соотношения незамещенной (Н), метоксилированной (М) и кальций-пектатной (К) форм звеньев, а также молекулярной массы (Мм) и степени полимеризации (СП).

Представленные данные демонстрируют, что состав звеньев в гомогалактуронатных доменах существенно различается в пектинах не только из разных ботанических источников, но и из разных растительных

тканей, например, в стебле льна-долгунца. Пониженный уровень Мм и СП для образца Р<sub>С</sub> отражает деструкцию полимера в условиях промышленных способов выделения пектина [17]. Аналогично различие в значениях показателей для образцов Р<sub>FR</sub> и Р<sub>FF</sub> связано с протеканием при луговом расстеле льносоломы расщепления пектинов в клетках паренхимы, окружающей лубоволокнистые пучки. Наибольший размер макромолекул зафиксирован для пектинов ксилемы – древесной части льняного стебля.

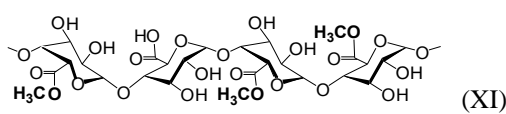
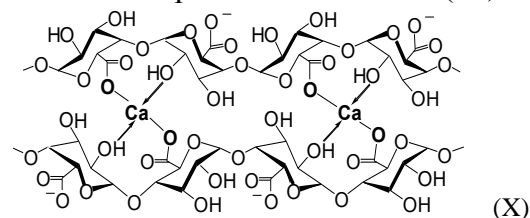
Таблица 1

Образец пектина	Долевое содержание звеньев, отн. ед.			Мм, кДа	СП
	 символы: <i>H</i> ; ○	 символы: <i>M</i> ; ⊙	 символы: <i>K</i> ; ●		
<b>Р<sub>A</sub></b>	0,31	0,50	0,19	36,9 ± 0,9	192 ± 5
<b>Р<sub>С</sub></b>	0,15	0,65	0,20	13,0 ± 0,6	68 ± 3
<b>Р<sub>B</sub></b>	0,16	0,61	0,23	64,2 ± 0,4	365 ± 2
<b>Р<sub>R</sub></b>	0,28	0,53	0,19	23,3 ± 0,6	120 ± 3
<b>Р<sub>FF</sub></b>	0,30	0,55	0,15	81,5 ± 3,4	425 ± 17
<b>Р<sub>FP</sub></b>	0,22	0,58	0,20	29,1 ± 0,5	150 ± 3
<b>Р<sub>FX</sub></b>	0,27	0,37	0,36	151,6 ± 1,9	790 ± 10
<b>Р<sub>FS</sub></b>	0,56	0,34	0,10	21,1 ± 0,4	110 ± 2

В пищевой индустрии основное внимание уделяется содержанию *M*-звеньев с подразделением пектинов на низко- и высокометоксилированные, когда доля *M*-формы соответственно меньше или больше половины. Мы акцентируем внимание на важной роли *K*-звеньев, которые обуславливают структуру зерен ассоциированного полимера, образующихся как при экстракционном выделении препаратов пектина, так и естественным путем в процессе пищеварения.

Специфика формирования межмолекулярных ассоциатов в тканях растений и их разрушения при выделении пектинов детально рассмотрена ранее [17, 23]. В основе моделирования блочно-ячеистой структуры ассоциатов лежат следующие исходные постулаты. Звено в *K*-форме не может находиться индивидуально в составе гибкого сегмента ячейки, поскольку ион Ca<sup>2+</sup> взаимодействует одновременно с двумя

карбоксильными группами в соседних макромолекулах. Одинарная сшивка цепей неустойчива, и стабильное конформационное образование “egg-box” возникает только при наличии нескольких мостиков в соседних звеньях [16]. В формировании блока участвуют как минимум четыре звена (по два в каждой цепи), создающие пару в *K*- и *H*-формах (X). Единичное (непаренное) *H*-звено может присутствовать в составе гибких ответвлений только в окружении метоксилированных остатков (XI):





Наиболее вероятную компоновку звеньев в ассоциатах прокомментируем на примере образца  $P_R$  [25]. При СП = 120 (табл. 1) макромолекула имеет совокупный состав звеньев  $K_{24}H_{32}M_{64}$  при следующем их распределении  $[(K_3H_2)(M_8H_2)]_8$ . То есть каждая цепочка проходит через 8 блоков, которые состоят из трех  $K$ -звеньев и двух встроенных между ними  $H$ -звеньев. Блоки разделены ответвлениями из восьми  $M$ -звеньев с двумя встроенными  $H$ -звеньями.

В табл. 1 звеньям в  $K$ -,  $H$ -, и  $M$ -формах присвоены графические символы, используемые на рис. 2 для визуализации наиболее вероятного формирования сшивающих блоков и ответвлений в сетчатой структуре  $P_R$  (а) и  $P_C$  (б).

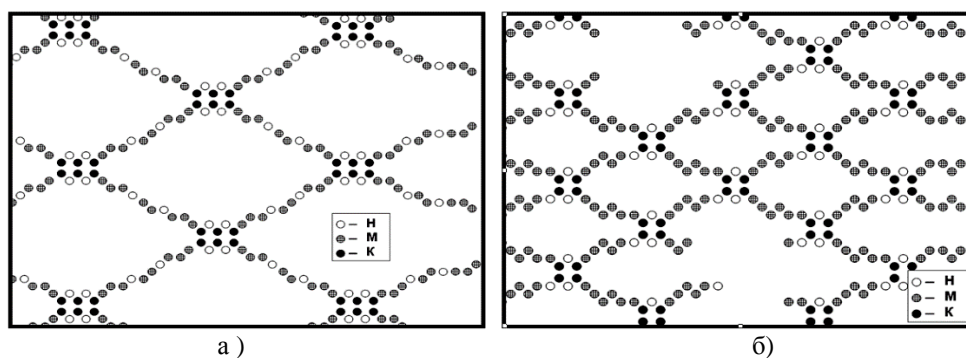
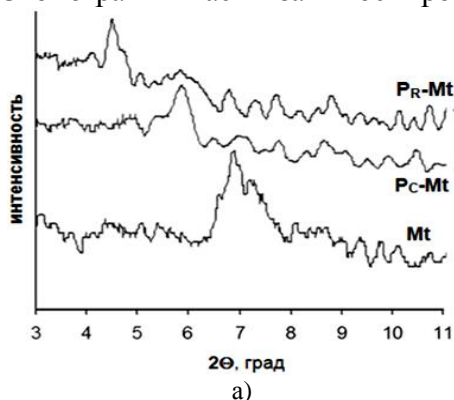


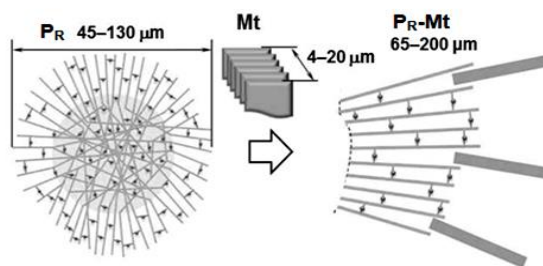
Рис. 2

При получении комплексов пектина с монтмориллонитом ( $P_R$ -Mt) проводили предварительное насыщение минерала водой [19, 25], что обеспечило подвижность его слоистой структуры. При введении в кашу Mt сухого пектина происходит перераспределение влаги, но ее количества недостаточно для полной гидратации фазы пектина. Это ограничивает взаимное про-



а)

никновение фаз и сохраняет активное состояние внутреннего объема межслоевых пространств Mt. Возможность интеркаляции в бикомпонентных системах подтверждают результаты рентгеноструктурных исследований исходного Mt и образцов  $P_C$ -Mt и  $P_R$ -Mt в соотношении 90:10 (рис.3, а).



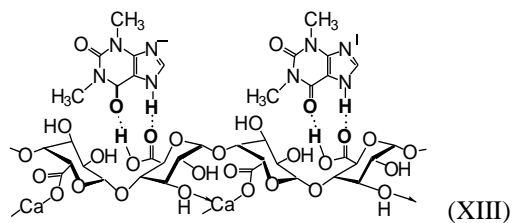
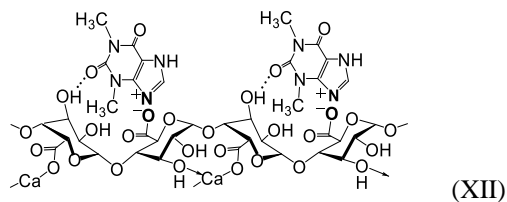
б)

Рис. 3

Смещение пика базального рефлекса в сторону меньших углов дифракции  $2\Theta$  в присутствии  $P_R$  отражает увеличение межплоскостного расстояния между кремний-кислородными слоями Мт с 1,28 до 1,96 нм, т. е. толщина межслоевых пространств возрастает с 0,32 нм до 1,0 нм. Смещение максимума дифракции  $2\Theta \rightarrow 5,9$  град на рентгенограмме образца  $P_C$ -Мт характеризует увеличение толщины галереи до 0,6 нм.

Различия в эффекте интеркаляции согласуются со спецификой структуры полимеров. Наличие  $H$ -звеньев с диссоциирующим карбоксилем в гибких сегментах  $P_R$  (рис. 2, а) обуславливает проявление сил электростатического отталкивания между этими участками макромолекул. Интеркаляция напряженных концевых фрагментов в структуру набухшего Мт (рис. 3, б) обеспечивает после удаления влаги фиксацию слоистого минерала в более раздвинутом состоянии, чем при введении малонапряженных периферийных участков в макромолекулах  $P_C$ .

При исследовании кинетики иммобилизации МТ учитываем, что в гранулах пектина и в частицах гибридных композитов для взаимодействия с теofilлином доступны все  $H$ -звенья, в т. ч. в составе сшивающих блоков. В умеренно кислой среде в дополнение к ионным взаимодействиям положение сорбата фиксируется водородной связью с гидроксилом соседнего галактуронатного звена (XII). В сильнокислой среде сорбция проходит за счет образования водородных связей с недиссоциированной  $-COOH$  группой (XIII).



На рис. 4 продемонстрировано различие проявляемой сорбционной активности препаратов на примере образцов  $P_C$  и  $P_R$  пектинов и их композитов с содержанием Мт 10 мас. %.

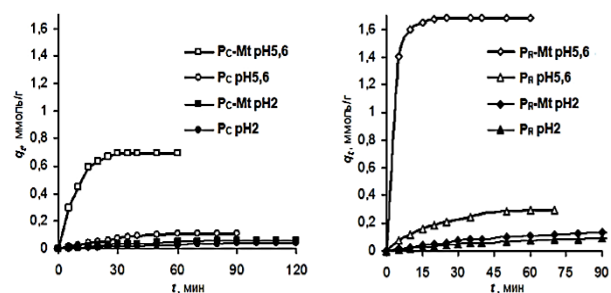


Рис. 4

При анализе кинетики сорбции важно учитывать, что растворы пектинов представляют собой коллоидные системы, в которых массоперенос подразделяется на стадии внешней диффузии к поверхности частиц и внутренней диффузии в структуре набухшего зерна. Описание сорбционных кривых в рамках диффузионных моделей Бойда, Морриса-Вебера и гелевой диффузии позволяет провести количественное сравнение препаратов пектина по показателям длительности  $t_1$  и степени достижения равновесия  $F_1$  на стадии внешедиффузионного лимитирования, констант скорости диффузии  $k_{D1}$  и  $k_{D2}$  на 1-й и 2-й стадиях массопереноса, эффективного коэффициента диффузии  $D$  в структуре набухшего зерна. В табл. 2 сопоставлены диффузионные параметры сорбции теofilлина образцами пектина (40 °С, pH 5,6).

Таблица 2

Пек-тин	Модель внешней диффузии Бойда		Модель Морриса-Вебера (ммоль г <sup>-1</sup> мин <sup>-0,5</sup> )		Модель гелевой диффузии $D \cdot 10^{11}$ , м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>
	$t_1$ , мин	$F_1 = q_e/q_t$	$k_{D1} \cdot 10^2$	$k_{D2} \cdot 10^2$	
$P_A$	25	0,42	3,22	2,73	1,07
$P_C$	25	0,48	1,55	1,29	1,15
$P_{Rh}$	15	0,54	4,96	3,87	5,11
$P_{FF}$	15	0,66	5,11	4,06	4,50
$P_{FP}$	10	0,42	3,22	2,61	1,02
$P_{FX}$	15	0,33	2,67	2,17	0,27
$P_{FS}$	20	0,86	11,19	5,37	7,25

Диффузионное торможение сорбции, характерное для базовых образцов  $P_A$  и  $P_C$ ,

может быть существенно снижено при использовании препаратов с более рыхлой надмолекулярной структурой. Наилучшие результаты получены для  $P_R$ ,  $P_{FF}$  и  $P_{FS}$ . Значения параметра  $t_1$  свидетельствуют, что более половины и даже 86 % от уровня равновесной сорбционной емкости  $q_e$  может быть реализовано за время прохождения дуоденальной зоны кишечника. Сопоставление значений констант  $k_{D1}$  и  $k_{D2}$  отражает синхронное ускорение стадий внешней и внутренней диффузии, а величина коэффициента  $D$  демонстрирует повышение диффузионной проницаемости набухших частиц в препаратах  $P_R$ ,  $P_{FF}$  и  $P_{FS}$  в 4–6,5 раза относительно базовых образцов.

Установлено, что кинетику сорбционного взаимодействия при pH 2 адекватно описывает модель псевдо-первого порядка (ППП), а при pH 4,5–6,5 – модель псевдо-второго порядка (ПВП). Анализ позволяет определить величину предельной сорбционной емкости субстрата  $q_e^*$  и констант скорости сорбции  $k_1$  и  $k_2$ , которые приведены в табл. 3 для полимерных и гибридных сорбентов.

Т а б л и ц а 3

Сорбент	Модель ППП pH 2 $k_1 \cdot 10^3$ , мин <sup>-1</sup>	Модель ПВП pH 5,6	
		$k_2$ , г·ммоль <sup>-1</sup> ·мин <sup>-1</sup>	$q_e^*$ , ммоль·г <sup>-1</sup>
$P_C$	6,0	0,07	0,12
$P_A$	6,1	0,13	0,21
$P_{FX}$	0,4	0,05	0,13
$P_B$	2,1	0,09	0,14
$P_{FP}$	4,8	0,13	0,27
$P_{FF}$	6,4	0,13	0,37
$P_R$	19,0	0,17	0,31
$P_{FS}$	1,7	0,20	0,68
$P_C$ -Mt 90:10	9,0	0,14 (0,24)	0,70
$P_{FP}$ -Mt 80:20	11,0	0,37	1,44
$P_R$ -Mt 90:10	36,0	0,48 (0,97)	1,69
$P_{FF}$ -Mt 80:20	18,0	0,54	1,85

Коммерческие препараты  $P_C$  и  $P_A$  не отличаются высокой сорбционной емкостью в отношении модельного алкалоида. Данные для  $P_B$  и  $P_{FX}$  демонстрируют сложность улучшения результатов. Вместе с тем на примере других пектиновых субстратов показана возможность превышения уровня базовых препаратов. Хорошие перспективы

для создания специализированных энтеросорбентов демонстрирует пектин ревеня – огородной культуры, произрастающей на территории центральных регионов России и относящейся к группе съедобных растений, а также пектин льняных отрубей, являющихся крупнотоннажными отходами при производстве льняного масла.

Для совокупности исследуемых пектиновых субстратов выявлена корреляционная зависимость уровня предельной сорбционной емкости от соотношения форм галактуронатных звеньев:

$$q_e^* = 0,00887 + 1,1289H - 0,1022K - 0,1417Mg = 0,9365 \cdot (1)$$

В структуре гибридных сорбентов частицы интеркалированного Mt являются своеобразным концентратом, повышающим содержание сорбата во внешней среде для пектинового ядра, что в 2–4 раза интенсифицирует связывание теofilлина на адсорбционных центрах пектина, обеспечивая прирост  $q_e^*$  в 5–6 раз.

В табл. 3 в скобках приведены значения  $k_2$  для эксперимента, моделирующего предварительное прохождение желудка (pH 2, 120 мин) с последующим анализом кинетики сорбции при pH 5,6. В этих условиях величина сорбционной емкости не меняется, но 2-кратное ускорение сорбционного процесса подтверждает значимость предварительного концентрирования алкалоида в межслоевых пространствах интеркалированного алюмосиликата до перехода в дуоденальную зону кишечника.

Результаты исследования обладают практической ценностью. Представленные в табл. 3 сорбционные характеристики позволяют рассчитать величину удельного связывания алкалоидов  $q_\tau$  с учетом времени прохождения пищи (кормовой массы) на участке двенадцатиперстной кишки в организме человека или сельскохозяйственных животных ( $\tau$ , мин):

$$q_\tau = \tau / \left( \frac{1}{k_2 q_e^{*2}} + \frac{\tau}{q_e^*} \right). \quad (2)$$

Уравнение (2) применимо для обоснования дозировки имеющихся видов пек-

тинсодержащих энтеросорбентов и фитопрепаратов для профилактики неблагоприятного воздействия азаетероциклических МТ.

## ВЫВОДЫ

Сформированы методологические основы для оценки технологической пригодности растительного сырья, включая отходы льнопереработки, при создании пектинсодержащих энтеросорбентов и кормовых добавок, обеспечивающих эффективную защиту от поражения азаетероциклическими МТ. Исходными характеристиками пектиновых веществ являются данные о соотношении форм галактуронатных звеньев и степени полимеризации индивидуальных макромолекул.

Критериями оценки эффективности действия препаратов в сравнении с коммерческими образцами яблочного и цитрусового пектина являются параметры диффузионных моделей Бойда, Морриса-Вебера и гелевой диффузии, а также значения константы скорости сорбции и предельной сорбционной емкости, рассчитываемые с применением адекватных кинетических моделей.

По результатам сопоставления выявлена низкая сорбционная активность пектинов банановой кожуры и ксилемы льна, а также перспективность создания полимерных и пектин-монтмориллонитных энтеросорбентов на основе пектинов лубяной части льняного стебля, оболочки семян льна и биомассы ревеня.

Получено корреляционное соотношение для прогнозирования уровня предельной сорбционной емкости пектинов, исходя из соотношения галактуронатных звеньев в незамещенной, метоксилированной и кальций-пектатной формах. Предложена зависимость для расчета удельного связывания алкалоидов при прохождении пищи в двенадцатиперстной кишке человека и сельскохозяйственных животных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Postek M.T., Poster D.L. Update on bio-refining and nanocellulose composite materials manu-

facturing // Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. – 2017, 10354, 103540H. – <https://doi.org/10.1117/12.2275237>

2. Miltner M., Beisl S., Miltner A. et al. Application of membrane separation for cleaning and concentration of nanolignin suspensions in a biorefinery environment // Chem. Eng. Tran. 2019, 76. 133...138. – <https://doi.org/10.3303/CET1976023>

3. Аким Э.Л. Биорефайнинг древесины // Химические волокна. 2016. №3. С. 14...18. – <https://doi.org/10.1007/s10692-016-9765-7>

4. Ciriminna R., Fidalgo A.M.A., Scurria A. et al. Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid // Food Hydrocoll. 2022, 127, 107483. – <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>.

5. Freitas C.M.P., Coimbra J.S.R., Souza V.G.L. et al. Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review // Coatings. 2021, 11, 8. 922. – <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

6. Ахмадышин Р.А., Канарский А.В., Канарская З.А. Микотоксины – контаминанты кормов // Вестник Казанского технол. ун-та. 2007. № 2. С. 88...103.

7. Gruber-Dorminger C., Novak B., Nagl V. et al. Emerging mycotoxins: beyond traditionally determined food contaminants // J. Agric. Food Chem. 2017, 65, 33. 7052...7070. – <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>

8. Chatterjee S., Dhole A., Krishnan A.A. et al. Mycotoxin monitoring, regulation and analysis in India: A success story // Foods. 2023, 12, 4. 705. – <https://doi.org/10.3390/foods12040705>

9. Tutelyan V. Deoxynivalenol in cereals in Russia // Toxicol. Lett. 2004, 153. 173...179. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2004.04.042>

10. Kozak L., Szilágyi Z., Tóth L. et al. Tremorgenic and neurotoxic paspaline-derived indole-diterpenes: biosynthetic diversity, threats and applications // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2019, 103. 1599...1616. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09594-x>

11. Сухаревич В.И., Поляк Ю.М. Глобальное распространение цианобактерий: Причины и последствия (обзор) // Биология внутренних вод. 2020. №6. С. 562...572. – <https://doi.org/10.31857/S0320965220060170>

12. Tomczak E., Tosik P. Sorption equilibrium of azo dyes direct orange 26 and reactive blue 81 onto a cheap plant sorbent // Ecol. Chem. Eng. S. 2014, 21. 435...445. – <https://doi.org/10.2478/eces-2014-0032>

13. Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V. Bimodification of flax fibrous materials for increase of sorption to organic compounds // Intern. J. Chem. Eng. 2019, 4137593. – <https://doi.org/10.1155/2019/4137593>

14. Adumhatcharaphon S., Petchkongkaew A., Greco D. et al. The effectiveness of durian peel as a multi-mycotoxin adsorbent // Toxins. 2020, 12, 108. – <https://doi.org/10.3390/toxins12020108>

15. Shanab O., Abdeen A., Abdelkader A. Arabic gum could alleviate the aflatoxin B1- provoked hepatic injury in rat: The involvement of oxidative stress, in-

flammatory, and apoptotic pathways // *Toxins*. 2022, 14, 605. – <https://doi.org/10.3390/toxins14090605>

16. *Morris E.R., Powell D.A., Gidley M.J. et al.* Conformations and interactions of pectins: Polymorphism between gel and solid states of calcium polygalacturonate // *J. Mol. Biol.* 1982, 155, 517...531. – [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(82\)90484-3](https://doi.org/10.1016/0022-2836(82)90484-3)

17. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A. et al.* Supramolecular structure of banana peel pectin and its transformations during extraction by acidic methods // *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 242, 2. 124616. – <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124616>

18. *Wang M., Hearon S., Phillips T.D.* A high capacity bentonite clay for the sorption of aflatoxins // *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2019, 37, 1662493. – <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1662493>

19. *Лепилова О.В., Алеева С.В., Кокишаров С.А.* Роль пектиновых веществ в структурной организации гибридного сорбента льноволокно-монтмориллонит // *ЖПХ*. 2018, 91, 1. 98...103. – <https://doi.org/10.1134/S1070427218010147>

20. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* Preparation of hybrid polymer-inorganic chelators based on pectin and montmorillonite // *Key Eng. Mat.* 2019, 816. 333...338. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.816.333>

21. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* Description of adsorption interactions of lead ions with functional groups of pectin-containing substances // *J. Mol. Liq.* 2019, 283. 606...616. – <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.109>

22. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокишаров С.А.* Выявление закономерностей сорбционного поглощения ионов кадмия пектиновыми веществами из водных растворов // *Физикохимия поверхностей и защита материалов*. 2021, 57, 1. 41...49. – <https://doi.org/10.31857/S0044185621010034>

23. *Кокишаров С.А., Алеева С.В., Лепилова О.В.* Влияние строения пектиновых веществ льняных кормовых добавок на абсорбционное связывание азаетероциклических микотоксинов // *Рос. хим. журнал*. – 2021, 65, 1. 12...35. – <https://doi.org/10.6060/rcj.2021651.2>

24. *Кокишаров С.А., Алеева С.В., Лепилова О.В.* Кинетика сорбции теофиллина в гидрогелях пектинов с различающимися структурными свойствами // *ЖФХ*. 2022, 96, 4. 562...569. – <https://doi.org/10.31857/S0044453722040161>

25. *Kornilova N., Koksharov S., Aleeva S. et al.* Enterosorbents based on rhubarb biomass with a hybrid polymer-inorganic coating for the inhibition of azaheterocyclic mycotoxins // *Coatings*. 2023, 13, 4, 684. – <https://doi.org/10.3390/coatings13040684>

26. *Алеева С.В., Чистякова Г.В., Лепилова О.В. и др.* Влияние состояния карбоксильных групп пектина на сорбционное связывание ионов меди // *ЖФХ*. 2018, 92, 8. 1308...1315. – <https://doi.org/10.7868/S0044453718080162>

27. *Кокишаров С.А., Алеева С.В., Лепилова О.В. и др.* Влияние гидродинамических условий синтеза гидроколлоидов альгината натрия и папаина на сорбционные свойства биокомпозита // *Коллоидный журнал*. 2023, 85, 4. 511...525. – <https://doi.org/10.31857/S0023291223600244>

## REFERENCES

1. *Postek M.T., Poster D.L.* Update on Bio-Refining and Nanocellulose Composite Materials Manufacturing // *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* 2017, 10354. 103540H. – <https://doi.org/10.1117/12.2275237>

2. *Miltner M., Beisl S., Miltner A. et al.* Application of membrane separation for cleaning and concentration of nanolignin suspensions in a biorefinery environment // *Chem. Eng. Tran.* – 2019, 76. 133...138. – <https://doi.org/10.3303/CET1976023>

3. *Akim E.L.* Biorefining of wood // *Fibre Chemistry*. – 2016, 3. 14...18. – <http://doi.org/10.1007/s10692-016-9765-7>

4. *Ciriminna R., Fidalgo A.M.A., Scurria A. et al.* Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid // *Food Hydrocoll.* 2022, 127, 107483. – <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>

5. *Freitas C.M.P., Coimbra J.S.R., Souza V.G.L. et al.* Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review // *Coatings*. 2021, 11, 8. 922. – <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

6. *Akhmadyshin R.A., Kanarsky A.V., Kanarskaya Z.A.* Mycotoxins – feed contaminants // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2007, 2. 88...103.

7. *Gruber-Dorninger C., Novak B., Nagl V. et al.* Emerging mycotoxins: beyond traditionally determined food contaminants // *J. Agric. Food Chem.* 2017, 65, 33. 7052...7070. – <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>

8. *Chatterjee S., Dhole A., Krishnan A.A. et al.* Mycotoxin monitoring, regulation and analysis in India: A success story // *Foods*. 2023, 12, 4. 705. – <https://doi.org/10.3390/foods12040705>

9. *Tutelyan V.* Deoxynivalenol in cereals in Russia // *Toxicol. Lett.* 2004, 153. 173...179. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2004.04.042>

10. *Kozak L., Szilágyi Z., Tóth L. et al.* Tremorgenic and neurotoxic paspaline-derived indole-diterpenes: biosynthetic diversity, threats and applications // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2019, 103. 1599...1616. – <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09594-x>

11. *Sukharevich V.I., Polyak Y.M.* Global occurrence of cyanobacteria: causes and effects (Review) // *Inland Water Biology*. 2020, 6. 562...572. – <https://doi.org/10.31857/S0320965220060170>

12. *Tomczak E., Tosik P.* Sorption equilibrium of azo dyes direct orange 26 and reactive blue 81 onto a cheap plant sorbent // *Ecol. Chem. Eng. S.* 2014, 21. 435...445. – <https://doi.org/10.2478/eces-2014-0032>

13. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova, O.V.* Biomodification of flax fibrous materials for increase of sorption to organic compounds // *Intern. J. Chem. Eng.* 2019, 4137593. – <https://doi.org/10.1155/2019/4137593>

14. *Adunphatcharaphon S., Petchkongkaew A., Greco D. et al.* The effectiveness of durian peel as a multi-mycotoxin adsorbent // *Toxins*. 2020, 12, 108. – <https://doi.org/10.3390/toxins12020108>
15. *Shanab O., Abdeen A., Abdelkader A.* Arabic gum could alleviate the aflatoxin B1- provoked hepatic injury in rat: The involvement of oxidative stress, inflammatory, and apoptotic pathways // *Toxins*. 2022, 14, 605. – <https://doi.org/10.3390/toxins14090605>
16. *Morris E.R., Powell D.A., Gidley M.J. et al.* Conformations and interactions of pectins: Polymorphism between gel and solid states of calcium polygalacturonate // *J. Mol. Biol.* 1982, 155, 517...531. – [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(82\)90484-3](https://doi.org/10.1016/0022-2836(82)90484-3)
17. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A. et al.* Supramolecular structure of banana peel pectin and its transformations during extraction by acidic methods // *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 242, 2. 124616. – <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124616>
18. *Wang M., Hearon S., Phillips T.D.* A high capacity bentonite clay for the sorption of aflatoxins // *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2019, 37, 1662493. – <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1662493>
19. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Role of pectin substances in the structural organization of the flax fiber-montmorillonite hybrid sorbent // *Russ. J. Appl. Chem.* 2018, 91, 1. 90...95. – <https://doi.org/10.1134/S1070427218010147>
20. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* Preparation of hybrid polymer-inorganic chelators based on pectin and montmorillonite // *Key Eng. Mat.* 2019, 816. 333...338. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.816.333>
21. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* Description of adsorption interactions of lead ions with functional groups of pectin-containing substances // *J. Mol. Liq.* 2019, 283. 606...616. – <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.109>
22. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Revealing the regularities of sorption binding of cadmium ions by pectin substances from aqueous solutions // *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.* 2021, 57, 1. 37...44. – <https://doi.org/10.1134/S2070205121010032>
23. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* The influence of the structure of pectin substances of flax fodder supplements on absorption binding of azaheterocyclic mycotoxins // *Russ. J. Gen. Chem.* 2021, 91, S1. S60...S83. – <https://doi.org/10.1134/S1070363221130399>
24. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* Kinetics of the sorption of theophylline in pectin hydrogels with different structural properties // *Russ. J. Phys. Chem.* 2022, 96, 4. 773...780. – <https://doi.org/10.1134/S003602442204015X>
25. *Kornilova N., Koksharov S., Aleeva S. et al.* Enterosorbents based on rhubarb biomass with a hybrid polymer-inorganic coating for the Inhibition of azaheterocyclic mycotoxins // *Coatings*. 2023, 13, 4, 684. – <https://doi.org/10.3390/coatings13040684>
26. *Aleeva S.V., Chistyakova G.V., Lepilova O.V. et al.* Effect of the state of carboxyl groups of pectin on the sorption binding of copper ions // *Russ. J. Phys. Chem.* 2018, 92, 8. 1583...1589. – <https://doi.org/10.1134/S0036024418080022>
27. *Koksharov S.A., Lepilova O.V., Aleeva S.V. et al.* Effect of the hydrodynamic conditions for sodium alginate-papain colloidal system synthesis on the sorption properties of the biocomposite // *Colloid Journal*. 2023, 85, 4. 590...604. – <https://doi.org/10.1134/S1061933X23600409>

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ. Поступила 04.10.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ СВОЙСТВ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
АКТИВНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПЕРЕВЯЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ОКРАШЕННЫХ ГАЛОХРОМНЫМИ АЗОПРОИЗВОДНЫМИ  
СТИЛЬБЕНОВОГО РЯДА \***

**STUDY OF INDICATOR PROPERTIES AND BIOLOGICAL ACTIVITY  
OF CELLULOSE DRESSING MATERIALS DYED WITH HALOCROME  
AZO DERIVATIVES OF THE STILBENE SERIES**

*С.А. ЕФАНОВ<sup>1,2</sup>, Т.Н. КУДРЯВЦЕВА<sup>1</sup>, А.Ю. ГРИГОРЬЯН<sup>3</sup>, Д.Н. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>,  
Л.Г. КЛИМОВА<sup>3</sup>, И.Б. КОМЕТИАНИ<sup>1</sup>*

*S.A. EFANOV<sup>1,2</sup>, T.N. KUDRYAVTSEV<sup>1</sup>, A.Yu. GRIGORYAN<sup>3</sup>, D.N. KUZNETSOV<sup>2</sup>,  
L.G. KLIMOVA<sup>3</sup>, I.B. KOMETIANI<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Курский государственный университет,

<sup>2</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

<sup>3</sup>Курский государственный медицинский университет)

<sup>1</sup>Kursk State University,

<sup>2</sup>The Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art),

<sup>3</sup>Kursk State Medical University)

E-mail: labos@kursksu.ru

*Исследованы индикаторные свойства целлюлозных перевязочных материалов, окрашенных галохромными дисазокрасителями – производными 4,4'-диаминотильбен-2,2'-дисульфокислоты. Проведена оценка антимикробных свойств, мутагенного, митозмодифицирующего и токсического эффектов. Для азокрасителей, полученных азосочетанием бис-диазотированной 4,4'-диаминотильбен-2,2'-дисульфокислоты с фенолом, резорцином, м-аминофенолом и м-фенилендиамином, установлено отсутствие роста колоний микроорганизмов в пределах границ фрагмента окрашенного материала, находящегося в контакте с предварительно засеянной питательной средой. Мутагенный, митозмодифицирующий и токсический эффект окрашенных исследованными дисазокрасителями материалов сопоставим с эффектом материалов, обработанных бриллиантовым зеленым и метиленовым синим, или выражен в меньшей степени. В эксперименте на модели гнойной раны у крыс породы Вистар также изучены показатели pH раневой поверхности и степень обсемененности. В эксперименте применен перевязочный материал, окрашенный одним из изученных галохромных дисазокрасителей, способных изменять цвет материала в зависимости от pH раневой среды. В экспериментальной части исследования между степенью обсемененности ран и уровнем pH обнаружена положительная (прямая) корреляционная связь ( $r=0,388$  при  $p<0,05$ ). Кроме того, зафиксировано изменение цвета перевязочного материала после контакта с раневой поверхностью (переход розово-желтого цвета в малиновый), данный переход отмечен на всех сроках наблюдения, т. к. показатель pH раны с 1 по 15 сутки изменялся от 7,68 до 7,12. Таким образом, не снимая повязку, медицинский персонал может судить об уровне кислотности*

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-25-00021, <https://rscf.ru/project/23-25-00021/>



*в ране и делать соответствующие выводы о необходимости применения противомикробных препаратов, смены повязки, судить о возможности инфицирования исходно чистой раны.*

*The indicator properties of cellulose dressings colored with halochromic disazo dyes, derivatives of 4,4'-diaminostilbene-2,2'-disulfonic acid, were studied. An assessment of antimicrobial properties, mutagenic, mitosis-modifying and toxic effects was carried out. For azo dyes obtained by azo coupling of bis-diazotized 4,4'-diaminostilbene-2,2'-disulfonic acid with phenol, resorcinol, m-aminophenol and m-phenylenediamine, the absence of growth of colonies of microorganisms within the boundaries of a fragment of the colored material was established, in contact with a pre-seeded nutrient medium. The mutagenic, mitosis-modifying and toxic effect of materials painted with the studied disazo dyes is comparable to the effect of materials treated with brilliant green and methylene blue, or is expressed to a lesser extent. In an experiment on a purulent wound model in Wistar rats, the pH of the wound surface and the degree of contamination were also studied; in the experiment, a dressing material was used, painted with one of the studied halochromic disazo dyes, which can change the color of the material depending on the pH of the wound environment. In the experimental part of the study, a positive (direct) correlation was found between the degree of contamination of wounds and the pH level ( $r=0.388$  at  $p<0.05$ ). In addition, a change in the color of the dressing material after contact with the wound surface was recorded, a transition from pink-yellow to crimson; this transition was noted at all periods of observation, because the wound pH from days 1 to 15 varied from 7.68 to 7.12. Thus, without removing the bandage, medical personnel can judge the level of acidity in the wound and draw appropriate conclusions about the need to use antimicrobial agents, the need to change the bandage, and judge the possibility of infection of an initially clean wound.*

**Ключевые слова:** 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислота, галохромные азокрасители, текстильные pH-сенсоры, биологическая активность.

**Keywords:** 4'-diaminostilbene-2,2'-disulfonic acid, halochromic azo dyes, textile pH-sensors, biological activity.

Значение показателя pH в ране играет важную роль в ее заживлении, поскольку он помогает контролировать и повышать антимикробную активность, влиять на высвобождение кислорода, ангиогенез, ферментативную активность [1].

Отмечается изменение значений pH раны в течение раневого процесса. При неосложненном течении раневого процесса в I фазу величина водородного показателя смещается в кислую сторону (pH 5,4-6,9). Во II фазе раневого процесса значение pH становится нейтральным или щелочным (pH 6,9-9,0). В III фазе величина pH приобретает значения здоровой кожи. Бактериальная колонизация сдвигает pH

нормальной кожи и раневой среды в щелочную сторону [2, 3].

Для обнаружения бактериальной инфекции в ране часто используются продукты жизнедеятельности бактерий (токсины, ферменты и т. д), а также характеристики создаваемой ими уникальной среды [4, 5, 6]. Например, кислотность является результатом гликометаболизма большинства патогенов и широко используется как маркер развития бактериальной инфекции [7, 8].

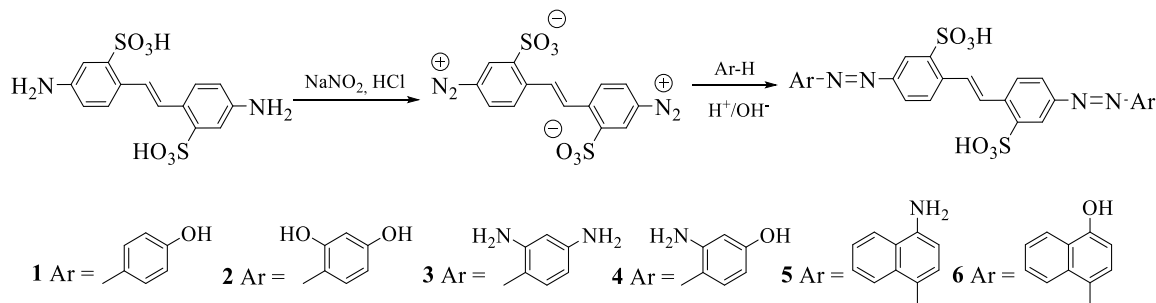
Одним из вариантов непрерывного неинвазивного контроля pH раны является использование перевязочных материалов, окрашенных галохромными красителями [9-14]. Такие материалы должны обладать



биологической безопасностью, быстро изменять цвет в заданном диапазоне значений pH, при этом проявление перевязочным материалом антисептических свойств повышает его практическую ценность.

#### Материалы и методы

В настоящем исследовании изучены галохромные и антимикробные свойства,



Структура и чистота синтезированных соединений подтверждены с помощью хромато-масс-спектрометрии (LS-MS) и ИК-спектроскопии (табл. 1). Синтезированными дисазосоединениями 1-6 окрашены целлюлозные материалы (бинт медицинский из нетканого материала с неосыпающимся краем по ТУ 9393-015-44881728-2012 и вата медицинская гигроскопическая по ГОСТ 5556-81) по методике крашения прямыми красителями (состав красильного раствора из расчета на 1 г волокна: 0,2 мг красителя, 0,02 г хлорида натрия, 50 мл воды). Время и температурный режим обработки определяли экспериментально в границах стандартных технологических режимов крашения прямыми красителями, при этом для обеспечения полноты выбираемости красителя время выдержки в остывающей ванне было увеличено до 24 часов. Окрашенный материал промывали без использования моющих средств до чистых промывных вод и высушивали на воздухе.

Для окрашенного синтезированными дисазосоединениями медицинского бинта визуально-колориметрическим методом был определен pH перехода окраски путем погружения в буферные растворы, приготовленные в соответствии с ГОСТ 4919.2-2016 с определенным значением pH, в интервале от 0 до 12 при комнатной температуре с фиксацией изменения цвета.

мутагенный митозмодифицирующий и токсический эффект целлюлозных перевязочных материалов, окрашенных дисазопроизводными 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты 1-6, синтезированными по схеме:

Окрашенный бинт исследован на устойчивость окраски к действию солевых растворов, имитирующих пот и плазму крови. Состав раствора, имитирующего пот, готовили согласно ГОСТ 9733.6 (Метод I). В качестве раствора, имитирующего плазму крови, использовали стандартный раствор Рингера для инфузий производства ОАО НПК «ЭСКОМ». Условия исследования по ГОСТ 9733.6 (Метод I). Проводилась только оценка степени закрашивания белого материала из того же волокна, что испытуемый образец, и степени закрашивания смежной ткани из натурального шелка. Такой выбор смежной ткани обусловлен необходимостью оценки способности окрашенного материала закрашивать кожу человека. Оценка изменения первоначальной окраски окрашенного образца не учитывалась, поскольку изменение цвета в кислом и щелочном растворе является отличительным признаком галохромных красителей, которые выбирались нами из ряда соединений, обеспечивающих изменение цвета окрашенного материала в биологически значимом диапазоне значений pH 4,0 – 9,0. Значения показателя устойчивости окраски приведены в табл. 2.

Окрашенные материалы исследованы на антимикробную активность по отношению к восьми тест-штаммам микроорганизмов, а также на наличие мутагенного,

митозмодифицирующего и токсического эффектов по отношению к клеткам меристемы растения *Allium* сера (*Allium* test).

В качестве контроля использовали неокрашенные образцы материалов и образцы материалов, окрашенные широко применяемыми в медицине антисептическими красителями (бриллиантовым зеленым и метиленовым синим) в количестве 0,02% от веса материала, нанесенными путем пропитки.

Для исследования антимикробной активности использовали диско-диффузионный метод, который был выбран как альтернатива методу, изложенному в ГОСТ Р ИСО 20743-2012 «Материалы текстильные. Определение антибактериальной активности изделий с антибактериальной обработкой». Выбор в пользу диско-диффузионного метода обусловлен возможностью оценить активность материала в условиях контакта с предварительно засеянной питательной средой, что, по нашему мнению, моделирует инфекционное воспаление, развивающееся под повязкой, а не на ее поверхности.

Для исследования антимикробной активности использовали диски из окрашенного бинта диаметром 10,0 мм, которые после стерилизации помещали на поверхность стерильной агаровой среды, предварительно засеянной соответствующим тест-микроорганизмом, согласно стандартной методике определения антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар.

Наличие мутагенного, митозмодифицирующего и токсического эффектов оценивалось по отношению к клеткам меристемы растения *Allium* сера (*Allium* test), которое считается эталонным тест-объектом в современных исследованиях. *Allium* test является относительно простым, быстрым и чувствительным методом анализа мутагенности, митотоксичности и токсичности и в силу высокой корреляции результатов используется как альтернатива генотоксикологическим тестам на лабораторных животных [15].

Стандартная методика тестирования адаптирована нами к исследованию тек-

стильных материалов. В отличие от стандартной методики, в которой луковицы *Allium* сера проращивают в водных растворах, содержащих исследуемые вещества, мы проращивали луковицы во влажном субстрате из текстильного материала. В качестве субстрата использовали 20 г медицинской целлюлозной нестерильной ваты по ГОСТ 5556-81, окрашенной исследуемыми красителями. Эксперимент проведен в 3-кратной повторности. В каждой серии исследовали три опытные группы.

Токсическое действие оценивали по изменениям длины корней исследуемых групп относительно контрольной после проращивания в течение трех суток. Мутагенный эффект оценивался по частоте хромосомных aberrаций, выявленных при проведении ана-телофазного анализа препаратов меристемы корней. Частоту хромосомных aberrаций рассчитывали как частное от деления хромосомных aberrаций на стадиях анафазы и телофазы на общую сумму ана-телофаз на препарате, выраженное в процентах. В качестве показателя митозмодифицирующего действия выбран митотический индекс (MI, %), который определяли как отношение числа делящихся клеток к общему числу рассмотренных на препарате клеток.

Микропрепараты меристемы корней готовили по описанной методике [16]. При анализе микропрепаратов использовали микроскоп «Carl Zeiss Primo Star» и видеоокуляр CMOS 3.1МП. На каждом микропрепарате просматривали не менее 1000 клеток при увеличении 16×40. Статистическую обработку результатов проводили по методике [17] с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office 2016. Различия считались достоверными при  $p < 0.05$ .

Средний диаметр зоны задержки роста микроорганизмов, значение митотического индекса (MI, %) и частоты хромосомных aberrаций приведены в табл. 3.

В эксперименте на модели гнойной раны у животных (36 крыс породы Вистар), выполненной по методике П.И. Толстых (контаминацию раны проводили путем

внесения  $10^9$  микробных тел суточной культуры *Staphylococcus aureus* 592), наблюдали за процессом заживления и фиксировали степень обсемененности ран (КОЕ/г), показатель рН ран (рН-метр РН 98110 Kelilong), перевязки осуществляли рН-чувствительным перевязочным материалом (при этом противомикробная терапия не проводилась), измерения проводили на 1, 3, 5, 8, 10 и 15 сутки. В качестве рН-чувствительного перевязочного материала использовали бинт медицинский из нетканого материала с неосыпающимся краем по ТУ9393-015-44881728-2012, окрашенный синтезированным соединением 2 по методике, указанной выше.

Проведен статистический анализ при помощи программ Microsoft Excel 2010 и Statistica v. 13.0, числовые признаки описывали как медиана, 25 и 75 перцентили (Me(25;75)). При сравнении показателей применен Kruskal-Wallistest. Корреляционный анализ проведен с использованием коэффициента Спирмена. Критический

уровень значимости статистических различий принят равным 0,05.

#### Результаты и их обсуждение

Опираясь на данные ИК-спектроскопии и масс-спектрометрии, можно с уверенностью предположить заявленную в работе структуру синтезированных соединений.

В электронном спектре поглощения (ЭСП) синтезированных азосоединений наблюдается интенсивное поглощение в длинноволновой области спектра за счет появления  $\pi$ - $\pi^*$ -перехода хромофорной азогруппы, в отличие от исходных диазо- и азокомпонентов, максимумы поглощения которых лежат в ближней УФ-области спектра.

Целлюлозные текстильные материалы, окрашенные синтезированными азосоединениями, приобретают способность к рН-индуцированному изменению цвета. Значение рН изменения окраски и характеристики синтезированных соединений приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ соединения	Характеристики	рН перехода окраски
1	Выход: 94 %, оранжевый порошок, ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3433 ос, 1595 ос, 1505 сл, 1474 сл, 1247 с, 1176 ос, 1144 с, 1077 ср, 1026 ср., 841 ср, 715 сл., 628 сл., 545 сл. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 579,06 [M-H] <sup>-</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 398 нм (4,64) (рН=3,0), 399 нм (4,56) (рН=7,0) 486 нм (4,75) (рН=11,0)	8,5-9,0
2	Выход 92%, черный порошок, ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3439 с, 2922 ср, 2854 сл, 1620 с, 1477 ср, 1412 сл, 1194 с, 1076 ср, 1022 ср, 705 сл, 636 ср. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 611,05 [M-H] <sup>-</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 599 нм (4,57), (рН=1,0), 452 нм (4,56), (рН=3,0), 484 нм, (4,76) (рН=7,0), 492 нм (4,76), (рН=11,0)	7,0-7,5
3	Выход 88%, черный порошок, ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3433 ос, 3198 ос, 1629 ос, 1533 с, 1515 ср, 1420 ос, 1253 с, 1224 ос, 1190 ос, 1075 ср. 1022 с, 713 ср, 632 ср, 546 ср. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 609,13 [M+H] <sup>+</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 524 нм (4,23) (рН=3,0), 516 нм (4,36) (рН=7,0), 496 нм (4,36) (рН=11,0)	4,0-4,5
4	Выход: 91% ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3433 ос, 3227 ос., 1625 с, 1477 с., 1407 сл., 1346 сл., 1188 с., 1137 ср., 1074 ср, 1021 ср., 834 сл., 712 сл., 634 сл., 522 сл. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 609,08 [M-H] <sup>-</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 558 нм (4,65) (рН=3,0), 487 нм (4,77) (рН=7,0), 521 нм (4,83) (рН=11,0)	9,0-9,5
5	Выход 94%, черный порошок, ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3435 с, 1631 ср, 1542 ср, 1520 ср., 1478 сл. 1442 ср., 1588 с, 1416 с, 1354 с, 1319 с, 1194 с, 1274 сл., 1221 ср., 1075 ср. 1060 сл., 1022 сл, 1004 сл., 732 сл., 631 сл., 545 сл. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 679,12 [M+H] <sup>+</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 566 нм (4,47) (рН=3,0), 573 нм (4,56) (рН=7,0), 512 нм (4,5) (рН=11,0)	4,0-4,5
6	Выход 92%, черный порошок, ИК-спектр (KBr), $\nu(\text{см}^{-1})$ : 3433 с, 1572 с, 1513 с, 1405 сл., 1344 сл., 1291 с, 1223 с, 1183 с, 1144 с., 1072 ср. 1016 с, 831 сл., 765 сл., 704 сл., 6272 сл. Масс-спектр, m/z (Iотн %): 681,09 [M+H] <sup>+</sup> (100). ЭСП (вода) $\lambda_{\text{max}}$ (lg $\epsilon$ ): 526 нм (4,57) (рН=3,0), 526 нм (4,57) (рН=7,0), 560 нм (4,60) (рН=11,0).	8,5-9,0

Окрашенные материалы показали высокую устойчивость окрасок к воздействию пота и реактива Рингера (4-5 баллов).

Т а б л и ц а 2

№	Результаты испытаний на устойчивость к физико-химическим воздействиям*			
	пот		реактив Рингера	
	I	II	I	II
1	4	5	4	5
2	4	5	4	5
3	5	5	5	5
4	5	5	5	5
5	5	5	5	5
6	5	5	5	5

П р и м е ч а н и е. \*В случае мокрых обработок: I – оценка степени закрашивания белого материала из того же волокна, II – оценка степени закрашивания смежной ткани.

Проведенные исследования показали зависимость антимикробной активности обработанного бинта от вида используемой азосоставляющей. Так, для красителей, полученных сочетанием с фенолом, резорцином, м-аминофенолом и м-фенилендиамином, наблюдается отсутствие роста колоний микроорганизмов в пределах границ фрагмента окрашенного материала, находящегося в контакте с предварительно засеянной питательной средой. В то же время у образцов, окрашенных красителями, полученными соче-

танием с 1-нафтолом и 1-нафтиламином, антибактериальная активность проявляется в меньшей степени.

В аналогичных условиях у образцов материалов, содержащих в идентичных концентрациях красители метиленовый синий и бриллиантовый зеленый, наблюдаются зоны задержки роста микроорганизмов за пределами границ текстильного материала. Данный факт, вероятно, обусловлен возможностью диффузии указанных красителей в питательную среду ввиду невысокой прочности их фиксации на поверхности целлюлозного волокна.

Для синтезированных соединений следует ожидать более прочной фиксации целлюлозным волокном, что обуславливает проявление ими антимикробных свойств непосредственно в зоне контакта питательной среды с образцами окрашенного материала.

Вата, окрашенная соединениями 2-6, а также красителями метиленовым синим и бриллиантовым зеленым, проявляет умеренную цитостатическую активность по отношению к клеткам меристемы корней растения *Allium cepa*. Для ваты, окрашенной соединениями 2-6, такая активность соизмерима с активностью материалов, обработанных бриллиантовым зеленым, или выражена в меньшей степени.

Т а б л и ц а 3

Обра- зец	Среднее значение диаметра зоны задержки роста, мм						MI, %	Частота хромосомных аберраций, %
	<i>E. coli</i>	<i>Ps. aeruginosa</i>	<i>Pr. vulgaris</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>Candida albicans</i>		
1	10,0	10,0	9,0	9,5	9,5	9,0	52,45±0,44	0,11 ±0,006
2	9,0	10,0	9,5	9,5	9,5	8,5	51,52±0,51	0,14 ±0,019
3	11,0	10,5	10,0	11,5	10,0	10,0	49,31±0,38	0,14 ±0,012
4	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	42,07±0,99	0,20 ±0,016
5	0	0	0	8,0	8,0	0	51,46±0,55	0,12±0,006
6	0	10,0	9,5	10,0	0	9,5	50,45±0,51	0,14 ±0,013
7	10,5	10,5	10,0	12,0	25,0	21,5	51,46±0,78	0,20 ±0,013
8	10,0	10,0	10,0	10,0	14,0	16,5	41,61±1,10	0,12 ±0,008
0	0	0	0	0	0	0	52,63±0,45	0,10 ± 0,09

При определении обсемененности ран у экспериментальных животных выявлено, что на первые сутки показатель составлял  $14,5 (13,7; 15,9) \times 10^7$  КОЕ/г, в последую-

щем происходило снижение обсемененности до  $2,2 (2,0; 2,4) \times 10^6$  к 15 суткам. Следует отметить, что данные на первые сутки достоверно отличались от показателей на

8, 10 и 15 сутки ( $p=0,017$  и менее). Соотношение уровня обсемененности ран и показателя рН ран представлено в табл. 4.

Из данных, представленных в табл. 4, видно, что значение рН ран снижалось с течением времени аналогично уровню обсемененности ран, кроме того, между обсемененностью ран и уровнем рН обнаружена положительная (прямая) корреляционная связь ( $r=0,388$  при  $p<0,05$ ).

На рис. 1 продемонстрирован факт применения рН-чувствительного перевязочного материала. Обращает на себя внимание изменение цвета перевязочного материала после контакта с раневой поверхностью – переход розово-желтого цвета в малиновый. На рисунке представлен вид раны на первые сутки исследования (рН раневой поверхности 7,72, обсемененность

14,2·10<sup>7</sup> КОЕ/г, время рН-отклика составило 12 с).

Т а б л и ц а 4

Сутки	Обсемененность ран (КОЕ/г), n=6	рН ран
1	14,5 (13,7; 15,9)·10 <sup>7</sup> #	7,68 (7,56; 7,93)# n=36
3	8,8 (8,1; 9,0)·10 <sup>7</sup> #	7,64 (7,48; 7,81)# n=30
5	4,9 (4,8; 5,1)·10 <sup>7</sup> #	7,59 (7,36; 7,81)# n=24
8	4,0 (3,9; 4,2)·10 <sup>6</sup> *	7,39 (7,20; 7,76)* n=18
10	3,8 (3,6; 4,1)·10 <sup>6</sup> *	7,39 (7,32; 7,51)* n=12
15	2,2 (2,0; 2,4)·10 <sup>6</sup> *	7,12 (6,84; 7,22)* n=6

П р и м е ч а н и е. \* –  $p<0,05$  при сравнении значения показателя на первые сутки со значениями в другое время испытаний. # –  $p<0,05$  при сравнении значения показателя на 15 сутки со значениями в другое время испытаний.

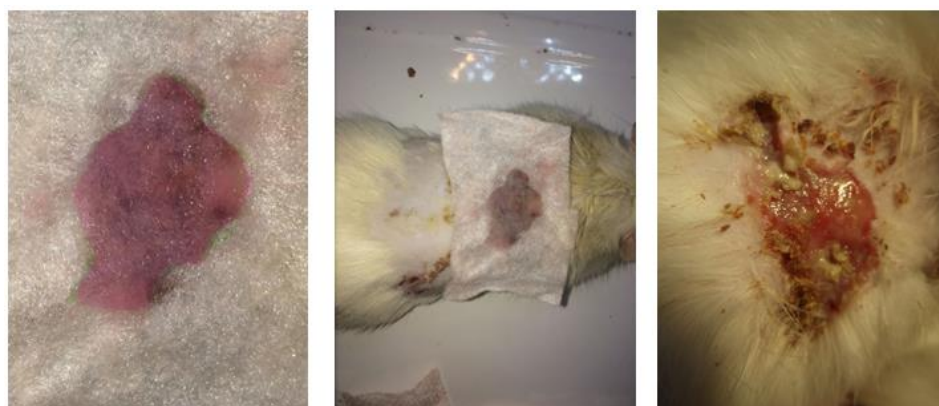


Рис. 1

## ВЫВОДЫ

В работе осуществлен синтез шести дисазокрасителей стильбенового ряда с выходами 88-94%, структура которых подтверждена комплексом современных физико-химических методов анализа.

Результаты исследования показали, что синтезированные галохромные азосоединения способны окрашивать текстильные материалы из целлюлозных волокон в цвета красно-фиолетовой гаммы, обеспечивая при этом хорошие показатели устойчивости окраски к действию пота и реактива Рингера. Показано, что при иммобилизации красителя на твердом носителе наблюдается обратимый эффект измене-

ния окраски при изменении рН, что указывает на возможность практического применения исследованных красителей в технологиях разработки новых многофункциональных рН-чувствительных сенсорных текстильных материалов.

Установлено, что все текстильные материалы, окрашенные синтезированными и изученными в работе красителями, проявляют выраженную антисептическую активность в пределах границ фрагмента обработанной ткани. Мутагенный, митозмодифицирующий и токсический эффект обработанных исследованными дисазокрасителями материалов сопоставим с эффектом материалов, обработанных бриллиантовым зеленым и метиленовым синим.

Определена положительная (прямая) корреляционная связь между степенью обсемененности и значением рН ран. Изменение цвета рН чувствительного материала, который был использован в качестве раневого покрытия, продемонстрировало возможность мониторинга раны с его помощью. Таким образом, не снимая повязку, медицинский персонал может судить об уровне кислотности в ране и делать соответствующие выводы о необходимости применения противомикробных препаратов, смены повязки, судить о возможности инфицирования исходно чистой раны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar P., Honnegowda T.M. Effect of limited access dressing on surface pH of chronic wounds // *Plastic and Aesthetic Research*. 2015. V. 2, I. 5. P. 257...260.
2. Shukla V. K., Shukla D., Tiwary S. K., Agrawal S., Rastogi A. Evaluation of pH measurement as a method of wound assessment // *Journal of Wound Care*. 2007. V. 16, № 7. P. 291...294.
3. Андреев А.А., Глухов А.А., Остроушко А.П., Карапатьян А.Р., Чуян А.О. Влияние кислотности на динамику репаративных процессов в мягких тканях // *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2017. №1. С. 64...71. – DOI: 10.18499/2070-478X-2017-10-1-64-71
4. Chen J., Andler S.M., Goddard J.M., Nugen S.R., Rotello V.M. Integrating recognition elements with nanomaterials for bacteria sensing // *Chem. Soc. Rev.* 2017; 46: 1272...1283. – <https://doi.org/10.1039/C6CS00313C>
5. Gupta A., Mumtaz S., Li C.-H., Hussain I., Rotello V.M. Combatting antibiotic-resistant bacteria using nanomaterials // *Chem. Soc. Rev.* 2019; 48: 415...427. – <https://doi.org/10.1039/C7CS00748E>
6. Ji H., Dong K., Yan Z., Ding C., Chen Z., Ren J., Qu X. Bacterial hyaluronidase self-triggered prodrug release for chemo-photothermal synergistic treatment of bacterial infection. *Small* 2016; 12: 6200-6206. – <https://doi.org/10.1002/smll.201601729>
7. Wang X.-d., Meier R.J., Wolfbeis O.S. Fluorescent pH-sensitive nanoparticles in an agarose matrix for imaging of bacterial growth and metabolism. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2013; 52: 406-409. – <https://doi.org/10.1002/anie.201205715>
8. Yan Z., Shi P., Ren J., Qu X.A. Sense-and-treat hydrogel used for treatment of bacterial infection on the solid matrix. *Small* 2015; 11: 5540-5544. – <https://doi.org/10.1002/smll.201501958>
9. Van der Schueren, L., De Clerck, K. Halochromic Textile Materials as Innovative pH-Sensors // *Advances in Science and Technology*. 2012, V. 80, P. 47...52. DOI:10.4028/www.scientific.net/ast.80.47

10. Van der Schueren, L., De Clerck, K. Coloration and application of pH-sensitive dyes on textile materials // *Coloration Technology*. 2012. V. 128, I. 2, P. 82...90. – DOI:10.1111/j.1478-4408.2011.00361.x
11. Van der Schueren, L., De Clerck, K. The Use of pH-indicator Dyes for pH-sensitive Textile Materials // *Textile Research Journal*. 2009. V. 80, I. 7. P. 590...603. – DOI:10.1177/0040517509346443
12. Van der Schueren L., De Clerck K. The Use of Novel cellulose and polyamide halochromic textile sensors based on the encapsulation of Methyl Red into a sol-gel matrix // *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2012. V. 162, I. 1. – DOI:/10.1016/j.snb.2011.11.077
13. Miao, Y.Q., Chen, J.R., and Fang, K.M. New Technology for the Detection of pH. // *Journal Biochemical and Biophysical Methods*. 2015. V. 63. P. 1...9. – DOI:10.1016/j.jbbm.2005.02.001
14. Schaude C., Fröhlich E., Meindl C., Attard J., Binder B., Mohr G., The development of Indicator cotton swabs for the detection of pH in wounds // *Sensors*. 2017.V. 17, I. 6, P. 1365. – DOI:/10.3390/s17061365
15. De Almeida, E. J. R., Dilarrri, G., Corso, C. R. Evaluation of the Toxicity of Azo Dyes by Allium cepa and Study to Remove These Compounds in Aqueous Solution by *Saccharomyces cerevisiae* // In book: *Toxicity and Biodegradation Testing*, 2007. P. 297...309. – DOI:10.1007/978-1-4939-7425-2\_15
16. Калаев В.Н., Карпова С.С. Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма: учебное пособие. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2004. 79 с.
17. ОФС.1.1.0014.15. Статистическая обработка результатов определения специфической фармакологической активности лекарственных средств биологическими методами.

#### REFERENCES

1. Kumar P., Honnegowda T.M. Effect of limited access dressing on surface pH of chronic wounds // *Plastic and Aesthetic Research*. 2015. V. 2, I. 5. P. 257...260.
2. Shukla V.K., Shukla D., Tiwary S.K., Agrawal S., Rastogi A. Evaluation of pH measurement as a method of wound assessment // *Journal of Wound Care*. 2007. V. 16, № 7. P. 291...294.
3. Andreev A.A., Glukhov A.A., Ostroushko A.P., Karapityan A.R., Chuyan A.O. Influence of acidity on the dynamics of reparative processes in soft tissues // *Bulletin of Experimental and Clinical Surgery*. 2017; No. 1. S. 64...71. – DOI: 10.18499/2070-478X-2017-10-1-64-71
4. Chen J., Andler S.M., Goddard J.M., Nugen S.R., Rotello V.M. Integrating recognition elements with nanomaterials for bacteria sensing // *Chem. Soc. Rev.* 2017; 46: 1272...1283. – <https://doi.org/10.1039/C6CS00313C>
5. Gupta A., Mumtaz S., Li C.-H., Hussain I., Rotello V.M. Combatting antibiotic-resistant bacteria

using nanomaterials // Chem. Soc. Rev. 2019; 48: 415..427. – <https://doi.org/10.1039/C7CS00748E>

6. Ji H., Dong K., Yan Z., Ding C., Chen Z., Ren J., Qu X. Bacterial hyaluronidase self-triggered prodrug release for chemo-photothermal synergistic treatment of bacterial infection. *Small* 2016; 12: 6200-6206. – <https://doi.org/10.1002/sml.201601729>

7. Wang X.-d., Meier R.J., Wolfbeis O.S. Fluorescent pH-sensitive nanoparticles in an agarose matrix for imaging of bacterial growth and metabolism. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2013; 52: 406...409. – <https://doi.org/10.1002/anie.201205715>

8. Yan Z., Shi P., Ren J., Qu X.A. Sense-and-treat hydrogel used for treatment of bacterial infection on the solid matrix. *Small* 2015;11:5540-5544. – <https://doi.org/10.1002/sml.201501958>

9. Van der Schueren, L., De Clerck, K. Halochromic Textile Materials as Innovative pH-Sensors // *Advances in Science and Technology*. 2012. V 80, P. 47...52. DOI:10.4028/www.scientific.net/ast.80.47

10. Van der Schueren, L., De Clerck, K. Coloration and application of pH-sensitive dyes on textile materials // *Coloration Technology*.2012. V. 128, I. 2, P. 82...90. – DOI:10.1111/j.1478-4408.2011.00361.x

11. Van der Schueren, L., De Clerck, K. The Use of pH-indicator Dyes for pH-sensitive Textile Materials // *Textile Research Journal*. 2009. V. 80, I. 7. P. 590...603. – DOI:10.1177/0040517509346443

12. Van der Schueren L., De Clerck K, Brancatelli G., Rosace G, Els Van Damme, Winnok De Vos, Novel cellulose and polyamide halochromic tex-

tile sensors based on the encapsulation of Methyl Red into a sol-gel matrix // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2012. V. 162, I. 1. – DOI:10.1016/j.snb.2011.11.077

13. Miao, Y.Q., Chen, J.R., and Fang, K.M. New Technology for the Detection of pH. // *Journal Biochemical and Biophysical Methods*. 2015. V. 63. P. 1...9. – DOI:10.1016/j.jbbm.2005.02.001

14. Schaude C., Fröhlich E., Meindl C., Attard J., Binder B., Mohr G., The development of Indicator cotton swabs for the detection of pH in wounds // *Sensors*. 2017. V. 17, I. 6. P. 1365. – DOI:10.3390/s17061365

15. De Almeida, É. J. R., Dilarri, G., Corso, C. R. Evaluation of the Toxicity of Azo Dyes by *Allium cepa* and Study to Remove These Compounds in Aqueous Solution by *Saccharomyces cerevisiae* // In book: *Toxicity and Biodegradation Testing*, 2007, P. 297...309. –DOI:10.1007/978-1-4939-7425-2\_15

16. Kalaev V.N., Karpova S.S. Cytogenetic monitoring: methods for assessing environmental pollution and the state of the genetic apparatus of the body: textbook. Voronezh: Voronezh State University, 2004. 79 p.

17. OFS.1.1.0014.15. Statistical processing of the results of determining the specific pharmacological activity of drugs by biological methods.

Рекомендована кафедрой химии Курского государственного университета. Поступила 06.10.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
И ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА  
С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМИ МИКРОКАПСУЛАМИ**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL, OPERATIONAL  
AND TEMPERATURE-REGULATING PROPERTIES OF A MATERIAL  
WITH HEAT-ACCUMULATING MICROCAPSULES**

*О.А. МОСКАЛЮК<sup>1,2</sup>, А.А. КОПОТИЛОВА<sup>1</sup>, Я.А. КИМ<sup>3</sup>, Е.Н. ПОПОВА<sup>4</sup>, В.Н. БУТУЗОВ<sup>5</sup>*

*О.А. MOSKALYUK<sup>1,2</sup>, А.А. KOPOTILOVA<sup>1</sup>, Ya.A. KIM<sup>3</sup>, E.N. POPOVA<sup>4</sup>, V.N. BUTUZOV<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта,

<sup>3</sup>ООО «АрктикТекс»,

<sup>4</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН,

<sup>5</sup>ООО «Микскап»)

<sup>1</sup>St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

<sup>2</sup>Baltic Federal University named after I. Kant,

<sup>3</sup>ООО "ArcticTex",

<sup>4</sup>Institute of High Molecular Compounds of the Russian Academy of Sciences,

<sup>5</sup>ООО «Mixcap»)

E-mail: 2001kalina@mail.ru

*В статье представлены результаты исследования опытного образца материала с внесенными теплоаккумулирующими микрокапсулами. Проведены механические испытания при одноосном растяжении с использованием разрывной машины. Исследованы эксплуатационные свойства полотна, определена устойчивость к истиранию по плоскости. Испытуемые образцы были подвержены стирке в мыльном растворе. Образцы с внесенными термоаккумулирующими капсулами, прошедшие испытания на истирание и стирку, исследованы методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Исследован терморегулирующий эффект в термокриокамере. Показано, что пропитка полотен флиса суспензией теплоаккумулирующих микрокапсул не оказывает существенного влияния на механические характеристики полотна. Испытания готового образца текстильного материала, пропитанного суспензией вещества с фазовым переходом, в термокриокамере подтвердили терморегулирующие свойства образцов. Существенного негативного влияния на терморегулирующие свойства полотна пропитка не оказывает, но сама по себе является неустойчивой к физико-химическим воздействиям.*

*The article presents the results of a study of a prototype material with introduced heat-accumulating microcapsules. Mechanical tests were carried out under uniaxial tension using a breaking machine. The operational properties of the canvases are investigated, the resistance to abrasion along the plane is determined. The test samples were subjected to washing in soap solution. During the test, 10 washes were carried out. Samples with added thermal storage capsules that were tested for abrasion and washing were examined by differential scanning calorimetry (DSC). The thermo-regulating effect in the thermo-cryo chamber is investigated. It is shown that impregnation of fleece sheets with a suspension of heat-accumulating*



*microcapsules does not significantly affect the mechanical characteristics of the canvas. Tests of the finished textile material sample with MFP in a thermo-cryo chamber confirmed the thermoregulatory properties of the samples. Impregnation does not have a significant negative effect on the properties of the canvas, but in itself is unstable to physical and chemical influences.*

**Ключевые слова:** текстиль, терморегуляция, теплоаккумулирующие микрокапсулы, прочность, удлинение, истирание, устойчивость к стиркам, метод ДСК, термокриямера.

**Keywords:** textiles, thermoregulation, heat-accumulating microcapsules, strength, elongation, abrasion, resistance to washing, DSC method, thermo-cryo chamber.

Современный ритм жизни задает новые требования к функциональности и комфорту одежды. В настоящее время разрабатывается «умная» одежда, способная регистрировать изменения окружающей среды и реагировать на них. Условно она делится на пассивную, активную и «очень умную» [1-4].

Пассивные «умные» материалы содержат сенсорные датчики, снимающие ЭКГ и ЭЭГ, или термодатчики для измерения температур. При помощи углеродных электродов такая одежда может определять уровень загрязнения воздуха, влажность или уровень кислорода. Активные «умные» материалы не только выявляют изменения окружающей среды, но и могут реагировать на них. Устройства ввода и оповещения могут давать обратную связь, регулировать температуру, запоминать форму или поглощать излишнюю влагу. «Очень умная» одежда на основе всех полученных данных способна сама делать прогнозы и адаптироваться к условиям окружающей среды. В материал встроен микрокомпьютер, считывающий информацию с датчиков и оперативно регулирующий свойства одежды.

«Умный» текстиль применяется в различных сферах. До настоящего времени самый большой сегмент рынка приходился на военный сектор, но постепенно интерес стал проявляться в сфере медицины и повседневной одежды. Согласно прогнозу Research and Markets [5-7] наибольший темп роста ожидается в сфере домашнего хозяйства и стиля жизни – примерно на

70% с 2016 по 2026 год. Компания Juniper Research прогнозирует снижение популярности электронных аксессуаров в пользу «умного» текстиля, общемировой рынок которого достигнет 350 млрд долларов [8-10] (рис. 1 – прогнозируемый темп роста «умной» одежды по областям применения к 2026 году).

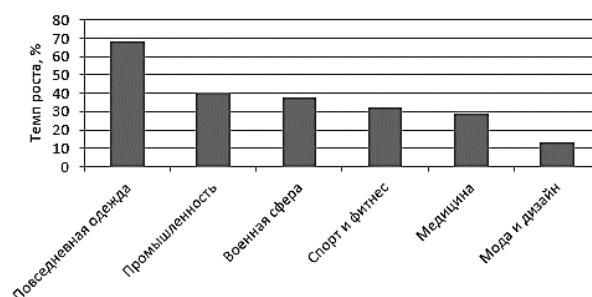


Рис. 1

В России интерес к смарт-текстилю проявляется как среди потребителей, так и среди производителей одежды. Быстро развивающийся новый рынок требует большого количества научных исследований для разработки новых, более эффективных решений. Одним из перспективных направлений является создание материалов с эффектом терморегуляции. Такие ткани найдут широкое применение в спортивной одежде, поскольку смогут повысить комфортность во время и после тренировок за счет эффекта кондиционирования. Использование терморегулирующих материалов может устранить сезонность повседневной одежды, поскольку она

сможет приспособливаться к различным погодным условиям. Ткани с теплоаккумулирующими микрокапсулами поглощают излишки тепла в жаркую погоду, а затем высвобождают это тепло при понижении температуры окружающей среды. Это может быть актуально не только для одежды, но и для производства постельного белья или туристического снаряжения (палаток, спальных мешков). Внесение микрокапсул не влияет на вес готового изделия, для их работы не требуется подключение к источнику питания.

Целью данной работы является модификация текстильного материала составом, содержащим вещества с фазовым переходом, исследование механических, эксплуатационных и терморегулирующих свойств данных материалов.

#### *Объекты и методы исследования*

При изготовлении опытного образца терморегулирующего материала применялся флис плотностью 260 г/м<sup>2</sup>, 100% ПЭ, и теплоаккумулирующие микрокапсулы на основе парафина в виде концентрированной суспензии на водной основе. Плотность микрокапсул 880-950 г/см<sup>3</sup>. Средний размер частиц 1-20 мкм.

При выполнении измерений в лаборатории соблюдены следующие условия: температура воздуха 22±5 °С; атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа; влажность воздуха 45-75% при 25 °С.

Измерения поверхностной плотности образцов проведены в соответствии с ГОСТ 3811-72 на образце 10x10 см с использованием электронных лабораторных весов Госметр ВЛ-210 I класса точности. Поверхностная плотность образца вычислялась по формуле:

$$G = \frac{g}{L \cdot B}, \quad (1)$$

Механические испытания при одноосном растяжении проведены на основе ГОСТ 3813-72 с использованием универсальной испытательной машины Instron. В результате испытаний получены зависимости нагрузка-удлинение  $P(\Delta l)$ . Скорость растяжения составляла 100 мм/мин, базовая

длина – 100 мм. На основе полученных зависимостей  $P(\Delta l)$  построены диаграммы растяжения  $\sigma(\varepsilon)$ , из которых определены прочность, удлинение при разрыве. Начальный модуль жесткости образцов до и после пропитки рассчитывался по формуле:

$$E_0(\varepsilon) = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}. \quad (2)$$

Испытание материала на устойчивость к износу по плоскости проведено на приборе ДИТ-М по ГОСТ 18976-73. Потеря массы образцов в процессе истирания зафиксирована с помощью электронных лабораторных весов Госметр ВЛ-210.

Испытуемые образцы были подвержены стирке в мыльном растворе при температуре 40 °С в течение 30 минут. В процессе испытания проведено 10 стирок.

Образцы с внесенными термоаккумулирующими капсулами, прошедшие испытания на истирание и стирку, исследованы методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 204 F1 (фирма Netzsch, Германия) в диапазоне температур от 0 до 40 °С при скорости нагрева 5 °С /мин в инертной среде (аргон).

Для исследования эффекта терморегуляции образец полотна был кондиционирован при нормальных условиях в течение 24 часов, затем установлен в испытательную камеру при комнатной температуре, выдержан в данных условиях 5-10 мин до установления температурной стабилизации в испытательной камере. Далее произвели нагрев образца до температуры 40 °С с шагом 1 °С, делая запись температуры в образце. Затем произведено снижение температуры до -40 °С с шагом 1 °С с записью температуры в образце. Термопара, определяющая значения температуры в образце, располагалась в центре образца.

#### *Результаты и их обсуждение*

Результаты испытания и рассчитанные значения поверхностной плотности полотна флиса до и после пропитки приведены в табл. 1.

Таблица 1

	Длина, м	Ширина, м	Масса, г	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
Исходный образец	0,1±0,001	0,1±0,001	2,60±0,3	260±30
Образец после пропитки	0,1±0,001	0,1±0,001	5,25±0,7	525±75

Сравнительные диаграммы растяжения полотен флиса до и после пропитки представлены на рис. 2.

Результаты проведенного испытания и рассчитанные значения показателей механических свойств полотен флиса приведены в табл. 2.



Рис. 2

Таблица 2

	Прочность при разрыве, МПа	Удлинение при разрыве, %	Начальный модуль жесткости, МПа
Исходный образец (основа)	3,8±0,2	85±2	4,4±0,3
Образец после пропитки (основа)	3,5±0,2	89±3	3,6±0,3
Исходный образец (уток)	1,9±0,2	189±4	0,2±0,1
Образец после пропитки (уток)	1,9±0,3	215±5	0,3±0,1

По результатам испытания видно, что поверхностная плотность флисового полотна после пропитки увеличивается в 2 раза. Прочность полотен флиса при разрыве после пропитки незначительно уменьшается до 3,5±0,2 МПа при растяжении по основе и не изменяется при растяжении по утку, остается равной 1,9±0,3 МПа. Удлинение при разрыве после пропитки увеличивается по основе на 4±3%, по утку на 26±5%. Начальный модуль жесткости до и после пропитки незначительно снижается по основе до 3,6±0,3 МПа и не изменяется по утку. Таким образом, значительных изменений механических свойств полотен флиса после пропитки не наблюдается, кроме увеличения растяжимости в направлении утка.

В рамках испытания на истирание по плоскости образцы были подвергнуты 10000 истирающих циклов, процесс истирания изображен на рис. 3.

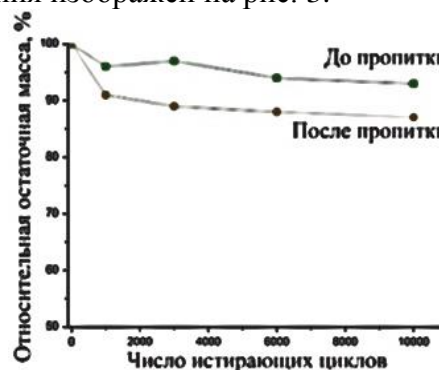


Рис. 4

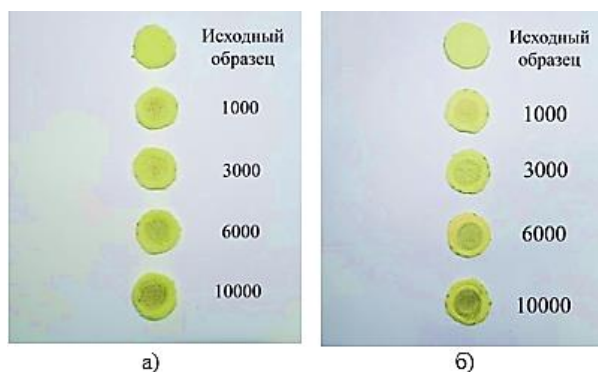


Рис. 3

В процессе истирания по плоскости или стирки происходит потеря массы образцов за счет уменьшения количества теплоаккумулирующих микрокапсул. Диаграмма изменения массы образцов в зависимости от количества истирающих циклов представлена на рис. 4, в зависимости от количества стирок – на рис. 5.

На рисунках видно, что полотна флиса после пропитки быстрее теряют массу, истирание визуально более заметно, ворс стирается после 10000 истирающих циклов.

лов, становится видно переплетение материала.

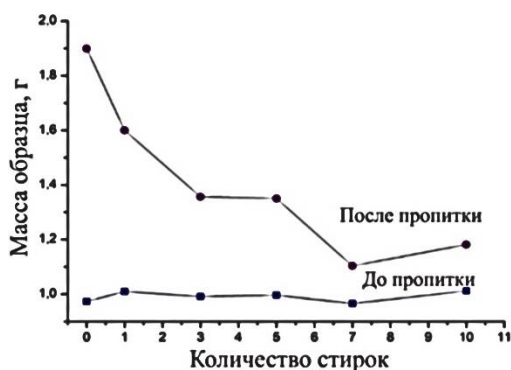


Рис. 5

В процессе стирки пропитка вымывается из материала. Масса образцов без пропитки не изменяется, следовательно, потеря массы образцов с пропиткой происходит исключительно за счет вымывания микрокапсул.

В результате эксперимента ДСК определены температуры плавления ( $T_{пл}$ ) и кристаллизации ( $T_{кр}$ ) МФП на образцах ткани (эндо- и экзотермические пики, которые наблюдаются при нагревании и охлаждении образцов в процессе эксперимента), а также энтальпии плавления ( $\Delta H_{пл}$ ) и кристаллизации ( $\Delta H_{кр}$ ), представленные в табл. 3.

Таблица 3

№ образца	Описание образца	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{пл}, \text{Дж/г}$	$\Delta H_{кр}, \text{Дж/г}$
1	Капсулы (пропитка)	30,4	18,9	110,1	115,3
2	Флис до пропитки	-	-	-	-
3	Флис после пропитки	31,3	18,0	167,1	172,1
4	Флис после пропитки после 3 стирок	28,7	23,0	16,98	18,6
5	Флис после пропитки после 10 стирок	28,4	13,47	20,8	10,2
6	Флис после пропитки после 1000 истирающих циклов	32,0	18,9	163,7	175,1
7	Флис после пропитки после 10000 истирающих циклов	31,8	18,0	128,1	132,2

Диаграммы полученных зависимостей для образцов № 1-7 представлены на рис. 6-12

соответственно.

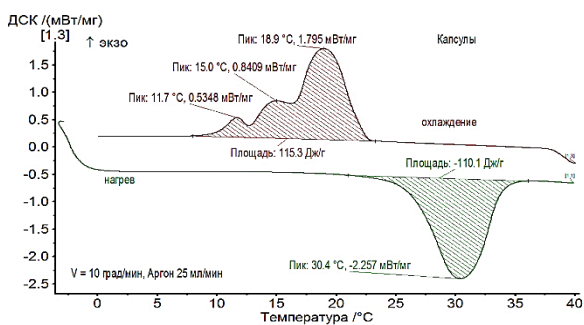


Рис. 6

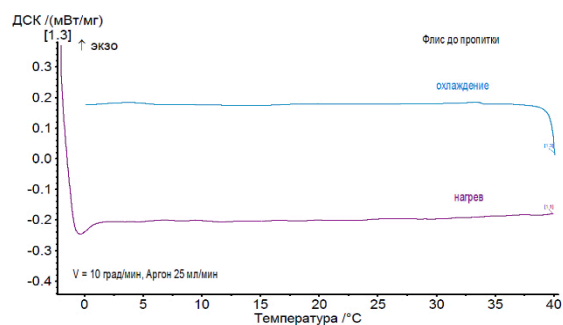


Рис. 7

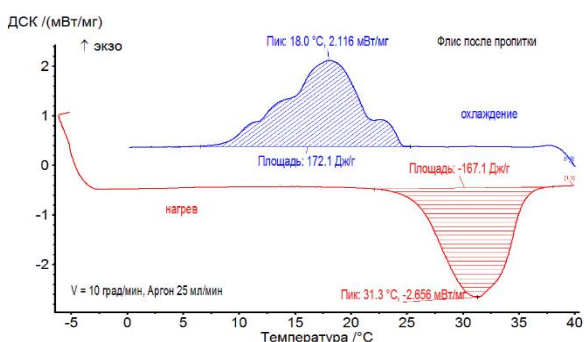


Рис. 8

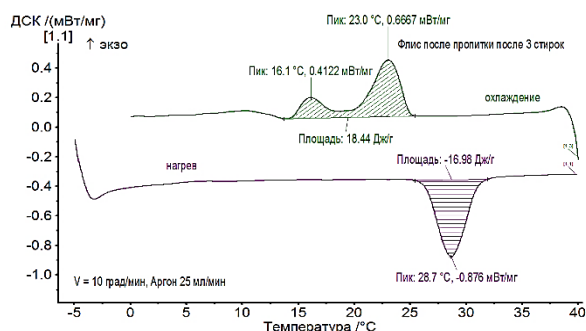


Рис. 9

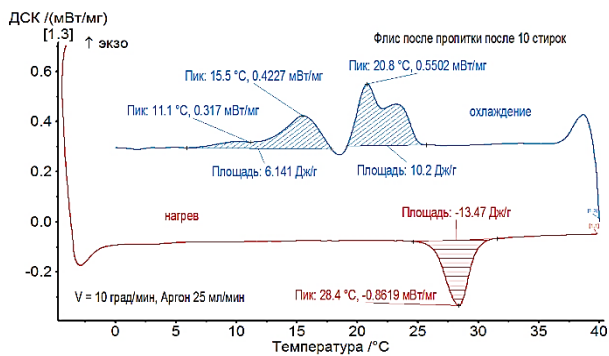


Рис. 10

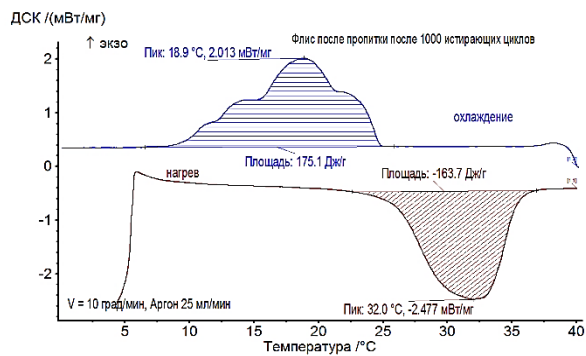


Рис. 11

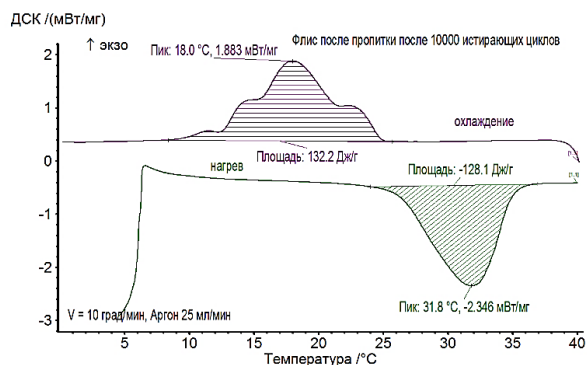


Рис. 12

На всех образцах, наполненных капсулами, наблюдаются экзо- и эндотермические процессы, которые можно отнести к кристаллизации и плавлению наполнителя (капсул). При этом пик плавления имеет один максимум в интервале 28,4–31,8 °С, а пик кристаллизации имеет сразу несколько экстремумов: 22,7°С; 18,0°С; 15,0°С; 11,7°С. В случае образца №5 (после 10 стирок) пик кристаллизации разделяется на два отдельных пика 20,8 и 15,5 °С. Можно отметить, что образцы №№ 4 и 5 (подвергнутые стирке) в отличие от образ-

цов №№ 6 и 7 (подвергнутые истиранию) имеют гораздо меньшие значения энтальпии плавления и кристаллизации, что свидетельствует о том, что при стирке капсулы наполнителя быстро вымываются из флиса.

Исследования эффекта терморегуляции в полотне проведены на базе ООО ИЛ «ТестСертифико». Образец, установленный в термокриокамеру, 5-10 минут выдерживался при комнатной температуре. Далее производился нагрев образца до 40 °С, затем снижение температуры до -40 °С. Первые 30 мин испытания при повышении температуры с +21 до +40 °С температура в материале с пропиткой повышалась примерно в 2 раза медленнее, чем в материале без пропитки, затем выравнивалась (рис. 13). При понижении температуры с +40 до -40 °С температура в материале с пропиткой снижалась медленнее (особенно в первые 30 мин), чем в материале без пропитки (рис. 14). Таким образом, полученный образец обладает заявленными терморегулирующими свойствами.

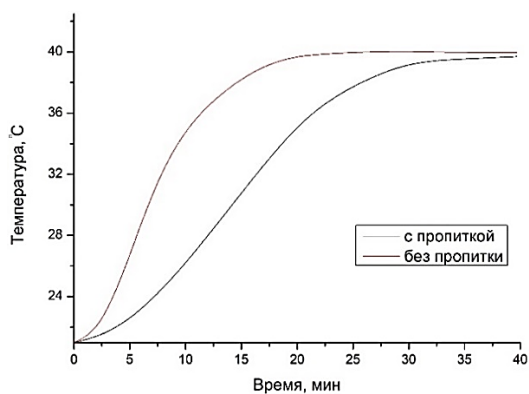


Рис. 13

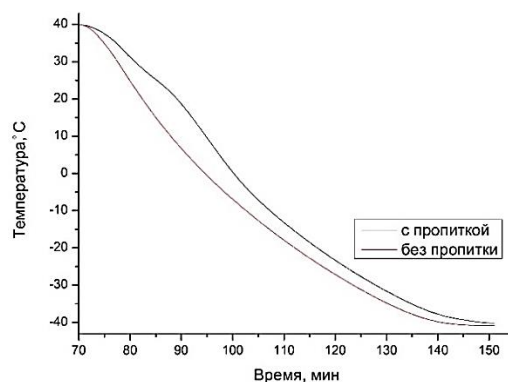


Рис. 14



## ВЫВОДЫ

Получены образцы текстильного материала, обработанного суспензией с МФП. Показано, что пропитка полотен флиса суспензией теплоаккумулирующих микрокапсул не оказывает влияния на прочность и начальный модуль жесткости материала, а также на удлинение при растяжении по основе. По утку полотно с пропиткой удлиняется на  $26\pm 5\%$  больше, чем без пропитки.

Показано, что поверхностная плотность после пропитки увеличивается в 2 раза по сравнению с исходными образцами.

В процессе истирания заметно, что износ полотна после пропитки происходит немного быстрее, чем до пропитки. Через 10000 истирающих циклов стирается ворс и у образцов с пропиткой, и без пропитки.

С помощью метода ДСК выявлено, что при стирке теряется значительно большее количество микрокапсул, чем при истирании по плоскости, что снижает терморегулирующий эффект.

Испытания готового образца текстильного материала с МФП в термокриокамере подтвердили терморегулирующие свойства образцов.

Выяснено, что существенного негативного влияния на свойства полотна пропитка не оказывает, но сама по себе является неустойчивой к физико-химическим воздействиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальные технологические тренды. Трендлеттер. 2016. №4. – <http://issek.hse.ru/trendletter>. – 05.08.2023.
2. Василевская В.В., Горень И.Г., Козловская Л.Г., Шевцова М.В. Виды «умного» текстиля и изделий на его основе // Материалы докладов 52-й междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ. Витебск, 2019. Т. 2. С. 214...2016.
3. Weng W., Chen P., He S., Sun X., Peng H. Smart Electronic Textiles // *Angewandte Chemie International Edition*, 2016. Vol. 21. P. 6140...6169.
4. Lund A., Wu Y., Salerno B., Torrisi F., Carmichael T.B.. Conducting materials as building blocks for electronic textiles // *MRS Bulletin*. 2021. Vol. 6. P. 491...501.
5. Research and Markets - Market Research Reports. – <https://www.researchandmarkets.com/> – 05.08.2023.

6. Круглов А.В., Телегин Е.С., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А. Современные тенденции и перспективы использования «умной одежды» // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 192...195.

7. Ларикова М.Д., Пищинская О.В. Анализ рынка "умной" одежды // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. / РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), НТИ (филиал). Саратов: Амирит, 2018. С. 106...109.

8. Стратегическая программа исследований Технологической платформы «Текстильная и легкая промышленность на 2021-2023 гг.» – <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=356311>.

9. Ядровская М.В., Поркшеян М.В., Синельников А.А. Перспективы технологии интернета вещей // *Advanced Engineering Research*. 2021. Т. 21, № 2. С. 207...217.

10. Недогарок В.В. Умная одежда – технология будущего // *Ceteris Paribus*. 2022. № 12. С. 32...33.

## REFERENCES

1. Global technological trends. Trendletter. 2016. No. 4. – <http://issek.hse.ru/trendletter>. – 05.08.2023.
2. Vasilevskaya V.V., Goren I.G., Kozlovskaya L.G., Shevtsova M.V. Types of "smart" textiles and products based on it // *Materials of reports of the 52nd International Scientific and Technical Conference of teachers and students*. Vitebsk, 2019. Vol. 2. P. 214...2016.
3. Weng W., Chen P., He S., Sun X., Peng H. Smart Electronic Textiles // *Angewandte Chemie International Edition*, 2016. Vol. 21. P. 6140...6169.
4. Lund A., Wu Y., Salerno B., Torrisi F., Carmichael T.B. Conducting materials as building blocks for electronic textiles // *MRS Bulletin*. 2021. Vol. 6. P. 491...501.
5. Research and Markets - Market Research Reports. – <https://www.researchandmarkets.com/> – 05.08.2023.
6. Kruglov A.V., Telegin E.S., Matrokhina A.Yu., Gruzintseva N.A. Modern trends and prospects of using "smart clothes" // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. № 1 (403). Pp. 192...195.
7. Larikova M.D., Pishchinskaya O.V. Market analysis of "smart" clothing // *Innovations and modern technologies in the fashion industry: materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference / A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Novosibirsk Institute of Technology (branch)*. Saratov: Amirite 2018. P. 106...109.
8. Strategic Research Program of the Technology Platform "Tech-stylish and light industry for 2021-2023" – <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=356311>.
9. Yadrovskaya M.V., Porsksheyan M.V., Sinelnikov A.A. Prospects of IoT technology // *Advanced Engineering Research*, 2021, vol. 21, no. 2. P. 207...217.

10. *Nedogarok V.V.* Smart clothes – the technology of the future // *Ceteris Paribus*. 2022. No. 12. P. 32...33.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 09.10.23.

---

УДК 677.024.5

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_108

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
ПОЛИМЕРНО-ВОЛОКНИСТОГО ПРЕПРЕГА,  
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ТКАЧЕСТВА**

**RESEARCH OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF  
A POLYMER-FIBROUS PREPREG  
PRODUCED BY THE WEAVING METHOD**

*Н.Л. КОРНИЛОВА<sup>1</sup>, Д.А. МИРОШНИЧЕНКО<sup>1</sup>, Т.Ю. КАРЕВА<sup>1</sup>, И.В. МУСОВ<sup>2</sup>,  
А.Л. СЛОНОВ<sup>2</sup>, С.Ю. ХАШИРОВА<sup>2</sup>*

*N.L. KORNILOVA<sup>1</sup>, D.A. MIROSHNICHENKO<sup>1</sup>, T.Y. KAREVA<sup>1</sup>, I.V. MUSOV<sup>2</sup>,  
A.L. SLONOV<sup>2</sup>, S.Yu. KHASHIROVA<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,  
<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)*

*(<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,  
<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian State University)*

E-mail: nkorn@ivgpu.com, pti@ivgpu.com

*В статье рассмотрены структуры однослойных и многослойных переплетений тканых материалов для получения полимерно-волокнистого препрега из суперконструкционных полимерных нитей и углеродного ровинга. Определены основные структурные характеристики тканых препрегов, влияющие на заполнение материала углеродом и полимером. Рассчитаны значения толщины препрегов для 100% объемного заполнения материала.*

*The article considers the structures of single-layer and multilayer weaves of woven materials for the production of polymer-fiber prepreg from superconstructive polymer threads and carbon roving. The main structural characteristics of woven prepreps affecting the filling of the material with carbon and polymer are determined. The values of prepreg thickness for 100% volumetric filling of the material are calculated.*

**Ключевые слова:** суперконструкционные полимеры, полиэфирэфиркетон, монопнить, углеродное волокно, переплетения тканей.

**Keywords:** high performance polymers, polyetheretherketone, monofilament, carbon fiber, interweaving of fabrics.



Создание новых эффективных материалов и технологий их изготовления в высокотехнологичных отраслях промышленности является одной из основных задач в развитии научно-технологического суверенитета Российской Федерации. Особенно важно получение новых материалов в таких отраслях, как авиационная, ракетно-космическая, оборонная промышленность, атомная энергетика, машиностроение, автомобилестроение, электроника, электротехника [1, 2]. К конструкционным материалам в этих областях применяются особые требования, они должны иметь высокую прочность, термостойкость, износостойкость, коррозионностойкость и радиационную стойкость [3].

Данные характеристики можно получить путем разработки новых видов композиционных материалов с включением в их состав в качестве связующего термостойких суперконструкционных полимеров (полиэфирсульфоны, полиэфиркетоны, полифениленсульфиды). Материалы этой группы обладают радиационной стойкостью в сочетании с высокими физико-механическими и теплофизическими характеристиками. Они также отличаются стойкостью к действию ударных циклических нагрузок и растрескиванию, имеют высокую атмосферо- и химическую стойкость к топливу, маслам, основаниям и кислотам [4].

Наибольшее распространение в качестве армирующего компонента получило углеродное волокно благодаря своим превосходным физико-механическим показателям (высокой удельной прочности и упругости) и свойствам (низкая плотность, низкий коэффициент теплового расширения, стойкость к высокой температуре, химическая стабильность). Объединение углерода с суперконструкционными полимерами позволит создавать препреги для дальнейшего формования композитов. По-

лучение данного типа препрегов возможно методами ткачества и технического плетения.

Основным преимуществом тканых основ для композитов является хорошая стабильность размеров в направлении основы и утка, высокая плотность расположения нитей и высокая жесткость на изгиб [5]. Как известно, к параметрам, которые определяют механические свойства текстильных армированных композитов, относятся переплетение, линейную плотность нитей (пряжи), их разрывную нагрузку, а также долю армирующего компонента в композите. Различные сочетания указанных параметров позволяют формировать композиты с необходимыми физико-механическими свойствами.

Целью работы является определение свойств полимерно-волоконистого препрега, полученного методом ткачества из полиэфиркетона и углерода, и зависимости его основных характеристик от параметров структуры.

В качестве нитей основы выбран углеродный ровинг марки Н-700 (ООО "Композит Полимер", г. Щелково), в качестве нитей утка – монопить из полиэфиркетона марки ПЭЭК-V, синтезированного в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ, физико-механические характеристики которых представлены в табл. 1. Использование полимера именно этой марки обусловлено его оптимальными показателями по разрывной нагрузке, удлинению при разрыве и гибкости монопити. Сравнение физико-механических характеристик других марок суперконструкционных полимеров представлено в работах [6, 7]. В силу высокой жесткости и удлинения при разрыве полиэфиркетоновых нитей использовать их в качестве основы не представляется возможным.

Т а б л и ц а 1

Название исходных компонентов	Линейная плотность, текс	Диаметр сечения, мкм	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение, %	Гибкость, мм
Углеродный ровинг Н-700	700	1137	56,1	3,58	24
ПЭЭК – V	1430	950	62,15	43,53	41

Для исследований выбраны следующие виды переплетений:

- рогожка 7/8 для формирования однослойной ткани;
- саржа 1/4 с отрицательным сдвигом для формирования трехслойной ткани;
- сатин 5/2 для формирования трехслойной ткани;
- саржа 1/2 с отрицательным сдвигом для формирования пятислойной ткани.

Выбор однослойного переплетения рогожка 7/8 обеспечивает большее вложение как армирующего компонента, так и термоплавого полимера по сравнению с другими однослойными переплетениями. Формирование многослойных тканых структур позволяет получить равномерный

по толщине пространственный каркас, предупреждая возможность расслоения композита. Вид переплетения определяет распределение армирующего компонента по слоям и связанность структуры по толщине полотна.

Все образцы тканей были выработаны на 15 ремизах рядовой проборкой одной заправки ткацкого станка. Фотографии и схемы разрезов вдоль углеродных нитей для выработанных переплетений представлены на рис. 1: а, б – рогожка 7/8; в, г – трехслойная саржа 1/4; д, е – трехслойный сатин 5/2; ж, з – пятислойная саржа 1/2.

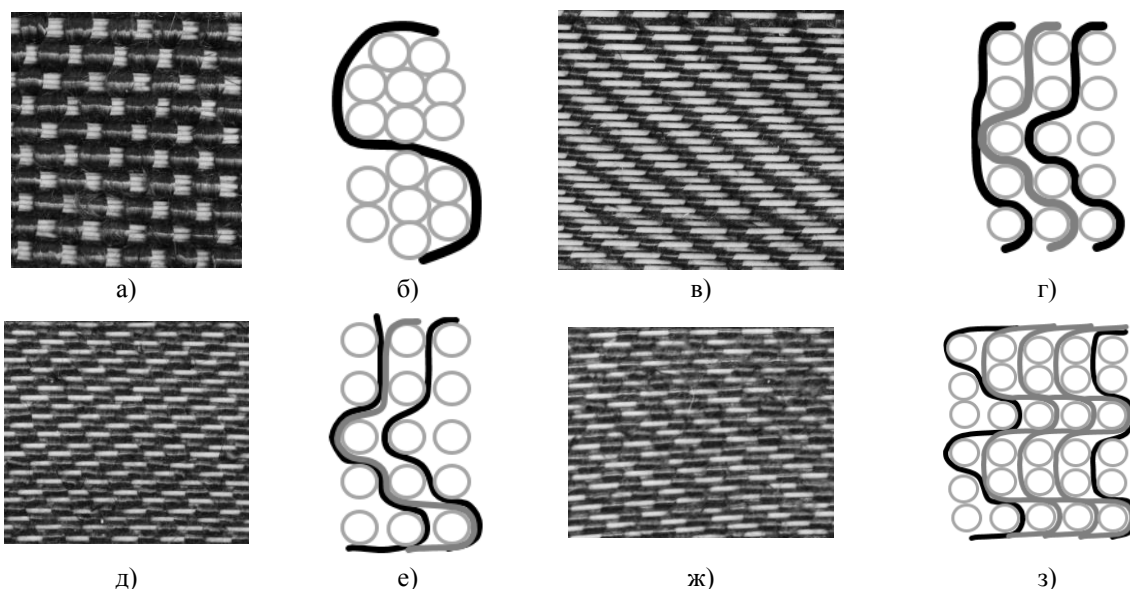


Рис. 1

Из представленных на рис. 1 разрезов видно, что у пятислойной саржи  $\frac{1}{2}$  (рис. 1, в, г) и трехслойной саржи  $\frac{1}{4}$  (рис. 1, ж, з) углеродная нить располагается на поверхности каждого слоя и переплетается с полимерными нитями только соседнего слоя. В трехслойной ткани с переплетением сатин 5/2 (рис. 1, д, е) углеродная нить среднего слоя переплетает все три слоя ткани, обеспечивая большее, чем в предыдущих вариантах, единство структуры. Структурные показатели однослойных и многослойных тканых препрегов представлены в

табл. 2 и 3. Для расчета доли вложения армирующего компонента  $D_o$  и объемного заполнения ткани  $E_v$  использовались следующие формулы:

$$D_o = P_o \left( \frac{\frac{T_o}{100 - a_o}}{\left(\frac{T_o}{100 - a_o}\right) + \left(\frac{P_y T_y}{P_o (100 - a_y)}\right)} \right),$$

где  $P_o$  – плотность ткани по основе, нит/дм;  $P_y$  – плотность ткани по утку, нит/дм;  $T_o$  – линейная плотность нитей ос-

новы, текс;  $T_y$  – линейная плотность нитей утка, текс;  $a_o$  – уработка нитей основы, %;

$a_y$  – уработка нитей утка, %;

$$E_v = 0,25\pi P_o \frac{P_y \left( \frac{d_o^2(1+0,01a_o)}{P_y} + \frac{d_y^2(1+0,01a_y)}{P_o} \right)}{T_{тк}}$$

где  $T_{тк}$  – толщина ткани, мм.

Т а б л и ц а 2

Наименование переплетения	Толщина ткани, мм	Плотность ткани по основе $P_o$ , нит/дм	Плотность ткани по утку $P_y$ , нит/дм	Уработка нитей углерода $a_o$ , %	Доля вложения армирующего компонента $D_o$
Рогожка 7/8	5	150	145	27	0,43
Саржа 1/4	6,5	150	200	33	0,35
Сатин 5/2	5,1	150	165	35	0,41
Саржа 1/2	6	150	260	41	0,32

Т а б л и ц а 3

Наименование переплетения	Число слоев	Поверхностное заполнение по основе $E_{s_o}$ , %		Поверхностное заполнение по утку $E_{s_y}$ , %		Объемное заполнение $E_v$ , %	Необходимая толщина для $E_v = 100\%$ , мм
		общее	на один слой	общее	на один слой		
Рогожка 7/8	2	170,55	85,28	137,75	68,88	56,96	2,95
Саржа 1/4	3	170,55	56,85	190	63,34	45,9	3,42
Сатин 5/2	3	170,55	56,85	156,75	52,25	63,24	3,11
Саржа 1/2	5	170,55	34,11	247	49,4	66,5	3,79

Вложение армирующего компонента (углеродных нитей) зависит от линейной плотности нитей, плотности расположения нитей в материале и величины их уработки. В силу особенности физико-механических свойств полиэфиркетонных нитей их уработка равна нулю ( $a_y = 0$  %). Из табл. 2 видно, что доля вложения армирующего компонента  $D_o$  уменьшается при увеличении количества слоев в тканом препреге с 0,43 для однослойного переплетения до 0,32 для пятислойного за счет увеличения количества полимерных нитей. Уработка нитей основы увеличивается с 27 до 41 %, что говорит о большей их извитости в структуре материала.

Из табл. 3 видно, что поверхностное заполнение тканей всех переплетений по основе и по утку больше 100 %, что обусловлено пространственным расположением нитей в ткани. Для определения поверхностного заполнения условного слоя учитывалось число слоев в ткани, при этом для рогожки 7/8 число слоев принималось равным двум исходя из простран-

ственного расположения полиэфиркетонных нитей, стянутых в пучок углеродной нитью (рис. 1, б).

Объемное заполнение всех образцов находится в пределах от 45 до 67 %, что связано с высокой жесткостью полиэфиркетонных нитей, сохраняющих форму поперечного сечения в виде круга при различных вариантах переплетений, и натяжением углеродных нитей. Это свидетельствует о низкой плотности структуры и большом количестве пор в тканом материале.

Для получения равномерного композита необходимо уплотнение материала до величины 100% объемного заполнения непосредственно перед процессом расплавления. Расчетные значения толщины материала, соответствующие значению объемного заполнения 100%, представлены в табл. 3. Для достижения наименьшего количества пор необходимо уплотнять тканый материал на величину от 37 до 46% от общей толщины материала в зависимости от вида переплетения.

Следует отметить, что все рассмотренные варианты переплетений имеют однонаправленное многослойное расположение армирующего компонента. Для формирования композитов с двумя и более направлениями армирования необходимо вводить в систему уточных нитей армирующий компонент, что требует дальнейших исследований.

## ВЫВОДЫ

На основании исследования структуры и свойств полимерно-волоконистых препрегов установлено, что доля вложения армирующего компонента уменьшается при увеличении количества слоев в тканом материале, что свидетельствует об увеличении количества полимерных нитей. Объемное заполнение полученных тканей находится в пределах от 45 до 67 %, что обусловлено низкой плотностью структуры и свидетельствует о большом количестве пор. Перед процессом расплавления рекомендовано уплотнение материала до величины 100% объемного заполнения, для чего рассчитаны соответствующие значения толщин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Shukla D., Negi Y.S., Uppadhyaya J.S., Kumar V. Synthesis and modification of poly (ether ether ketone) and their properties: a review // *Polymer Reviews*. 2012. V. 52(2). P. 189...228. – doi.org/10.1080/15583724.2012.668151.
2. Zhansitov A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Kurdanova Zh.I., Shabaev A.S., Khashirov A.A., Mikitaev A.K. Development of technology of polysulfone production for 3D printing // *High Performance Polymers*. 2017. 29(6), 724...729.
3. Зарецкая Г.П., Базаев Е.М., Руднева Т.В., Лунина Е.В. Технологии трехмерного армирования текстильными и швейными методами конструкций из полимерных композиционных материалов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2021. №6. С. 107...115.
4. Maeyama K., Hikiji I., Ogura K., Okamoto A., Ogino K., Saito H., Yonezawa N. Synthesis of optically active aromatic poly (ether ketone) s via nucleophilic aromatic substitution polymerization // *Polymer journal*. 2005. V. 37(9). P. 707...710. – doi.org/10.1295/polymj.37.707.
5. Zhansitov A.A., Slonov A.L., Shetov R.A., Baikaziev A.E., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I.,

Khashirova S.Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3d printing // *Fibre Chemistry*. 2018. 49-6, 414.

6. Grishanov S. Structure and properties of textile materials. Handbook of textile and industrial dyeing. – Woodhead Publishing. 2011. P. 28...63. – doi.org/10.1533/9780857093974.1.28.

7. Мирошниченко Д.А., Корнилова Н.Л., Мусов И.В., Слонов А.Л., Хаширова С.Ю. Исследование упругодеформационных характеристик мононитей из суперконструкционных полимеров // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 5 (401). С. 65...71.

## REFERENCES

1. Shukla D., Negi Y.S., Uppadhyaya J.S., Kumar V. Synthesis and modification of poly (ether ether ketone) and their properties: a review // *Polymer Reviews*. 2012. V. 52(2). P. 189...228. – doi.org/10.1080/15583724.2012.668151.
2. Zhansitov A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Kurdanova Zh.I., Shabaev A.S., Khashirov A.A., Mikitaev A.K. Development of technology of polysulfone production for 3D printing // *High Performance Polymers*. 2017. 29(6), 724...729.
3. Zaretskaya G.P., Bazaev E.M., Rudneva T.V., Lunina E.V. Technologies of 3d reinforcing of polymer composite constructions by textile and sewing methods // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021, 6. P. 107...115.
4. Maeyama K., Hikiji I., Ogura K., Okamoto A., Ogino K., Saito H., Yonezawa N. Synthesis of optically active aromatic poly (ether ketone) s via nucleophilic aromatic substitution polymerization // *Polymer journal*. 2005. V. 37(9). P. 707...710. – doi.org/10.1295/polymj.37.707.
5. Zhansitov A.A., Slonov A.L., Shetov R.A., Baikaziev A.E., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Khashirova S.Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3d printing // *Fibre Chemistry*. 2018. 49-6, 414.
6. Grishanov S. Structure and properties of textile materials. Handbook of textile and industrial dyeing. – Woodhead Publishing. 2011. P. 28...63. – doi.org/10.1533/9780857093974.1.28.
7. Miroshnichenko D.A., Kornilova N.L., Musov I.V., Slonov A.L., Khashirova S.Yu. Investigation of elastic-deformation characteristics of monothreads from superstructural polymers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 5. P. 65...71.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 27.09.23.

**АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ВЫРАБОТКИ  
ТРИКОТАЖНЫХ ПРИВЯЗАННЫХ ПОЛОТЕН  
НА ПЛОСКОВЯЗАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

**ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF METHODS  
FOR PRODUCING TIED KNITTED FABRICS  
ON FLAT KNITTING MASHINES**

*Т.В. МУРАКАЕВА, Е.В. НИКОЛАЕВА*

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

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

(The Kosygin State University of Russia)

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

*Задача разработки технологии выработки изделий со сложными структурными эффектами и элементами является актуальной. Современное вязальное оборудование обладает расширенным спектром возможностей, однако для выработки привязанных полотен необходимо наличие оборудования специальной конструкции. Для стандартного плосковязального оборудования необходимо рассмотреть технологические варианты выработки такого эффекта. В данной работе проведен анализ видов и способов получения привязанных полотен на современных плосковязальных машинах с электронным управлением. Выявлены их основные достоинства и недостатки. Определены технологические особенности выработки. На основе полученного материала разработан способ получения эффекта привязанных полотен с любым заданным количеством рядов в привязываемом полотне с использованием разделительного ряда. Основное полотно может быть получено на базе любого кулирного переплетения. Привязанные полотна можно выработать любым переплетением на базе кулирной глади. Полученные в работе результаты могут быть использованы для разработки технологии получения ассортимента трикотажных изделий с новыми структурными эффектами.*

*The task of developing technology for the production of products with complex structural effects and elements is an urgent task. Modern knitting equipment has an expanded range of capabilities, however, for the production of tied canvases, it is necessary to have equipment of a special design. For standard flat-knitting equipment, it is necessary to consider technological options for producing such an effect. In this paper, an analysis of the types and methods of obtaining tied canvases on modern electronically controlled flat knitting machines is carried out. Their main advantages and disadvantages are revealed. The technological features of the production are determined. Based on the obtained material, a method has been developed for obtaining the effect of tied canvases with any given number of rows in the tied canvas using a dividing row. The main canvas can be obtained on the basis of any culinary weave. Tied canvases can be produced by any weave on the basis of the culinary surface. The results obtained in the work can be used to develop a technology for obtaining an assortment of knitwear with new structural effects.*

**Ключевые слова:** привязанное трикотажное полотно, основное трикотажное полотно, плосковязальные машины, оттяжка, расстановка нитоводов.

**Keywords:** tied knitted fabric, basic knitted fabric, flat-knitting machines, drawback, arrangement of threaders.

Одной из тенденций развития трикотажного производства сегодня является выработка изделий со сложными структурными эффектами и элементами. Это обусловлено тенденциями моды, потребностями потребителей и развитием технологических возможностей трикотажного оборудования.

Одним из эффектов, который можно получать на трикотаже, являются привязанные полотна, которые можно использовать как элемент декора трикотажного изделия, как эффект многослойности, а так-

же как отдельный конструктивный элемент.

С точки зрения технологии выработки к привязанным можно отнести полотна, выработанные автономно, причем одно, назовем его основным, вяжут на двух игольницах, а второе – на одной из игольниц свободными иглами. Затем оба полотна соединяются вместе на вязальном оборудовании. Пример графической записи и последовательность выработки привязанного полотна представлены на рис. 1.

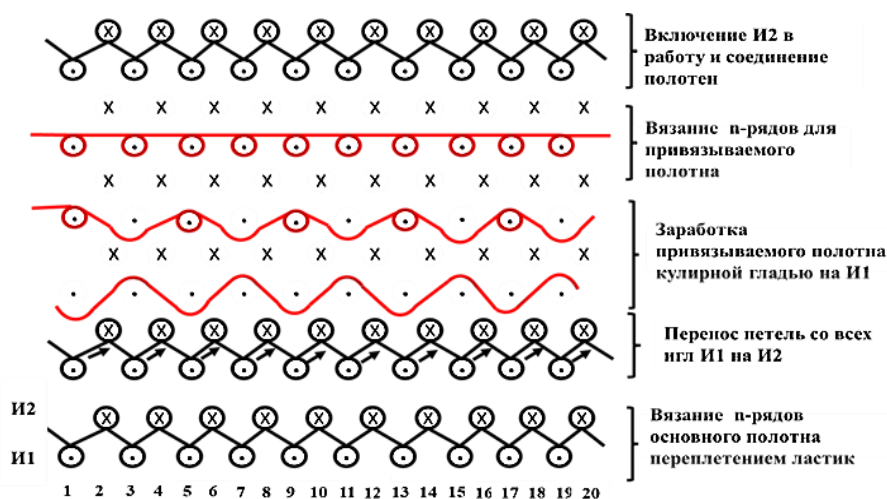


Рис. 1

Рассмотрим некоторые варианты таких полотен от наиболее простого к сложному с учетом технологии выработки:

- двухслойное полотно, вырабатываемое на базе трубчатой глади;
- вывязываемые карманы на трикотажных изделиях;
- привязываемые рюши;
- отдельно выработанные основное и привязываемое полотно с последующим их соединением на вязальной машине.

Наиболее простой способ выработки привязанных полотен можно осуществить на ручных машинах, где существует возможность заработка основного полотна на

двух игольницах и заработка привязываемого полотна на одной игольнице при смене каретки. В данном случае использование отдельных оттяжных гребенок для каждого из полотен обеспечивает необходимое усилие оттяжки для выполнения процесса петлеобразования.

Недостатком способа является возможность выработки единичных изделий и трудоемкость ручного процесса переноса петель на одну из игольниц для возможной заработка нового привязываемого полотна.

Особый интерес вызывает технология получения таких полотен на промышленных плосковязальных машинах. Однако

задача получения привязанных полотен на промышленном плосковязальном оборудовании решается значительно сложнее, это объясняется в первую очередь тем, что необходимо зарабатывать полотна на каждой из игольниц отдельно, создавая при этом необходимое усилие оттяжки для каждого полотна, как для основного, так и для привязанного.

Рассмотрим возможные способы получения привязанных полотен на современном плосковязальном оборудовании. В настоящее время существуют вязальные машины, которые дают возможность выработки таких полотен. В качестве примера можно привести фирмы Shima Seiki и Stoll, которые выпускают модификации вязального оборудования с 4 игольницами, позволяющими вырабатывать полотна практически любой сложности. Следует отметить, что на некоторых таких машинах отсутствуют платины, что уменьшает их технологические возможности. Кроме того, такое оборудование является дорогостоящим и в настоящее время в России имеется в очень ограниченном количестве [1, 8].

Таким образом, встает вопрос возможности выработки привязанных полотен на имеющемся в стандартном промышленном оборудовании.

На плосковязальном оборудовании, не оснащенном платинами, можно использовать технологию выработки таких полотен, применяемую в ручных машинах [2]. Однако из-за невозможности обеспечить необходимую оттяжку для привязываемого полотна сильно ограничено количество рядов в нем (рис. 2 – образец привязанных полотен, выполненный на вязальном оборудовании без платин).

На машинах с платинами, обеспечивающими сосредоточенную оттяжку петель, есть возможность получить большее количество рядов для привязываемого полотна, но только если оно вырабатывается на игольнице, в которую установлены платины [3]. Но и в этом случае число рядов привязываемого полотна ограничено из-за недостаточного усилия оттяжки, создаваем-

ого платинами, и отсутствия возможности направить данное полотно в оттяжной механизм.



Рис. 2

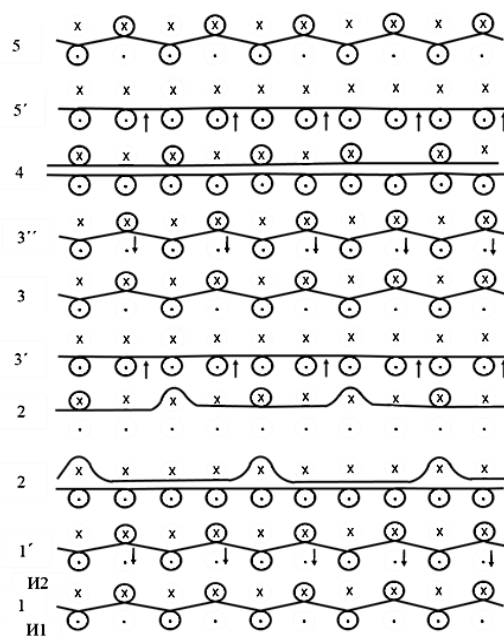
Для увеличения числа рядов в привязываемом полотне можно использовать технологическое решение по выработке привязанных полотен с помощью технологии вязания кармана, выполненной в обратном порядке (рис. 3 – графическая запись и последовательность выработки привязанного трикотажного полотна, полученного на базе метода «обратного» кармана). Выполнение такой технологии на малой ширине привязываемого полотна обеспечивает возможность получения нужного эффекта.

При увеличении ширины привязываемого полотна увеличивается и вероятность сброса петель, что обусловлено недостаточной оттяжкой [4]. Еще одним нарушением может быть соединение полотен по боковым граням из-за неправильного расположения нитеводителей [5, 6].

Таким образом, при выполнении технологии «обратного» кармана необходимо учитывать ряд особенностей технологии:

- контроль переносов петель;
- расстановка нитеводителей и их расположение в зоне вязания;
- обеспечение правильной расстановки игл для возможности вязания полотен автономно на каждой из игольниц и петлепереноса;
- регулировка плотности вязания;
- рациональная ширина привязывания полотен.





Вязание основного полотна ластиком. Далее повторяются циклы. Для соединения слоев при вязании привязанного полотна должны включаться в работу иглы игольницы и1

Перенос петель через одну с игольницы I1 на свободные иглы игольницы I2 для вязания ластиком основного полотна

Вязание привязанного полотна на иглах игольницы и2, иглы I1 не работают

Перенос петель с игольницы I2 на свободные иглы игольницы I1 для вязания ряда привязанного полотна

Вязание основного полотна ластиком на иглах игольницы I1 и I2 через иглу

Перенос петель через одну с игольницы I1 на свободные иглы игольницы I2 для вязания ластиком основного полотна

Вязание первого ряда привязанного полотна на иглах игольницы I2, иглы игольницы I1 не работают

Зарботка привязанного полотна на иглах игольницы I2, иглы I1 не работают

Перенос петель с I2 на свободные иглы I1 для зарботки привязанного полотна

Вязание основного полотна на иглах игольницы I1 и I2 через иглу

Рис. 3

Основным недостатком данного способа является невозможность выработки привязываемого полотна на большом количестве игл. Кроме того, есть ограничения в числе вырабатываемых рядов.

Таким образом, анализ возможных способов показал, что необходимо использовать более рациональный и надежный способ получения эффекта привязанных полотен с любым заданным количеством рядов в привязываемом полотне и на различном количестве игл.

Как известно, при вязании на плосковязальном оборудовании изделий полурегулярным способом и деталей по контуру для их разделения между собой используется разделительный ряд. Способ получения привязанных полотен с использованием разделительного ряда позволит решить проблему выработки заданного числа рядов в привязываемом полотне на заданном количестве игл и обеспечить данному полотну необходимую оттяжку за счет оттяжного механизма машины.

Данный способ предполагает несколько технологических этапов:

- вязание необходимого количества рядов основного полотна из пряжи, подаваемой нитеводом 1;

- операция петлепереноса всех петель с одной игольницы на другую для освобождения игл одной из игольниц от элементов петельной структуры;

- образование ряда основного полотна по игольнице, на иглах которой находятся петли из пряжи, подаваемой нитеводом 1;

- прокладывание набросков на иглы обеих игольниц из пряжи, подаваемой нитеводом 2 (разделительный ряд);

- зарботка привязываемого полотна на иглах свободной игольницы пряжей, подаваемой нитеводом 3, и вязание основного полотна пряжей, подаваемой нитеводом 1;

- вязание основного и привязываемого полотен автономно, каждого на своей игольнице;

- после образования необходимого числа рядов привязанного полотна соединение полотен с использованием двойного переплетения, например ластика 1+1, пряжей, подаваемой одним из нитеводов N1 или N3.

На рис. 4 представлен внешний вид привязанных полотен с различным числом рядов, а также графическая запись и последовательность их выработки с помощью разделительного ряда.



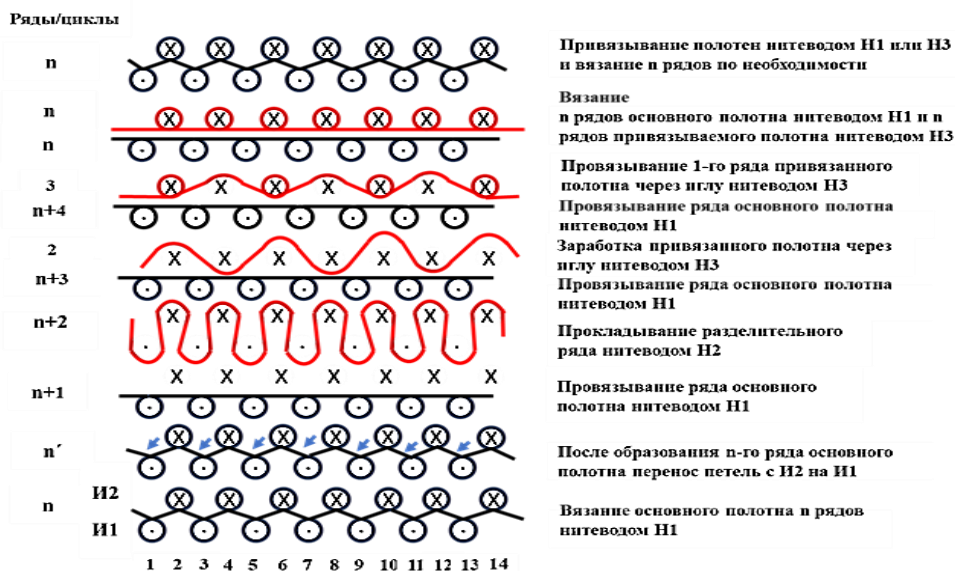


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

При использовании такого способа основное полотно может быть получено любым видом переплетения, а привязанный участок может иметь любое заданное число рядов, при этом разделительный участок позволяет исключить неконтролируемое соединение слоев по боковым кромкам, разделить полотна между собой, обеспечить оттяжку обоих полотен для осуществления надежного процесса петлеобразования, привязывать полотна на любой ширине, соединять полотна различными вариантами (по косой, интарзионным соединением, соединением с эффектом волны и т. д.). При применении более сложной расстановки игл можно вырабатывать различные узоры на привязанном полотне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Остапенко Н.Д., Сичкарь Т.В., Митрюхин В.И. Технологические основы формообразования при изготовлении цельновязанных изделий на

плосковязальных автоматах. М.: Экон-Информ, 2017. 149 с.

2. Кудрявин Л.А., Колесникова Е.Н., Галактионова А.Ю., Муракаева Т.В. Разработка программ плосковязальных машин фирмы «Штайгер». М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. 210 с.

3. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства: учебник для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 495 с.

4. Большакова Н.И., Цитович И.Г. К исследованию процесса оттяжки петель на плоскофанговых машинах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1972. №5.

5. Муракаева Т.В., Николаева Е.В. Анализ факторов, влияющих на технологию работы нитеводов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №5. С. 94...99.

6. Муракаева Т.В., Николаева Е.В. Анализ расстановки нитеводов при выработке трикотажа сложных структур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №6. С.81...86.

7. Пат. 2182612 Российская Федерация, МПК D04B1/22. Способ изготовления трикотажа сложной формы / Лукин А.С., Колесникова Е.Н., Кудрявин Л.А. – № 2001128006/12; заявл. 16.10.2001; опублик. 20.05.2002. – 5 с.: ил.

8. Shima Seiki. Промышленное вязальное оборудование, вязальные станки. – <http://www.shimaseiki.ru> (дата обращения 10.04.2023).

## REFERENCES

1. *Ostapenko N.D., Sichkar T.V., Mitryukhin V.I.* Technological bases of forming in the manufacture of whole-knit products on flat-knitting machines. M: Ekon-Inform, 2017. 149 p.
  2. *Kudryavin L.A., Kolesnikova E.N., Galaktionova A.Y., Murakaeva T.V.* Development of programs for flat knitting machines of the firm "Steiger". M.: Kosygin Moscow State Technical University, 2008. 210 p.
  3. *Kudryavin L.A., Shalov I.I.* Fundamentals of knitting production technology: textbook for universities. M.: Legprombytizdat, 1991. 495 p.
  4. *Bolshakova N.I., Tsitovich I.G.* To the study of the process of tightening loops on flat-flanged machines // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 1972. №5.
  5. *Murakaeva T.V., Nikolava E.V.* The analysis of factors affecting the yarn feeders operation technology // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. №5. P. 94...99.
  6. *Murakaeva T.V., Nikolava E.V.* The analysis of the arrangement of yarn feeders in the technology of complex knitted structures // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. №6. P.81...86.
  7. Patent 2182612 Russian Federation, IPC D04B1/22 Method of manufacturing knitwear of complex shape / *Lukin A.S., Kolesnikova E.N., Kudryavin L.A.* – No. 2001128006/12; application 16.10.2001; publ. 20.05.2002. – 5 s.: ill.
  8. Shima Seiki. Industrial knitting equipment, knitting machines. – <http://www.shimaseiki.ru> (accessed 10.04.2023).
- Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Поступила 06.10.23.
-

УДК 677.11/027.2

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_119

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОТВАРКИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ  
И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЛЬНЯНОГО КОТОНИНА\*****INFLUENCE OF BOILING CONDITIONS ON GEOMETRICAL  
AND STRENGTH PROPERTIES OF COTTONISED FLAX FIBER**

Д.Л. ЛИСОВСКИЙ, Н.Н. ЯСИНСКАЯ

D.L. LISOUSKI, N.N. YASINSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: lisouskid@gmail.com; yasinskaynn@rambler.ru

*Котонизация льняного волокна является одним из способов повышения полноты использования льноволокнистого сырья в текстильном производстве, поскольку позволяет заменить хлопковое волокно на котонин при изготовлении пряжи. Традиционные методы подготовки льняного волокна не позволяют получить котонин для производства тонкой пряжи высокого качества. Объектом исследований являлся льняной котонин, полученный механическим способом на РУПТП «Оришанский льнокомбинат». В статье представлены результаты исследования влияния условий биохимической отварки с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя на геометрические и прочностные свойства льняного котонина. Для определения поперечного размера волокна (диаметра) использован метод оптической микроскопии. Продольные размеры (длину) волокна, количество коротких волокон и равномерность определяли с использованием устройств измерительной системы USTER LVI. Установлено, что предварительная ферментативная обработка пектиназами позволила получить волокно, по тонине и физико-механическим свойствам не уступающее волокну, подготовленному по традиционной технологии щелочной отварки. Обработка целлюлолитическими ферментами концентрации более 3 г/л существенно увеличила индекс коротких волокон и снизила прочность волокна. Установлено, что наибольший эффект по снижению верхней средней длины волокна до 36,95 мм, получению тонкого волокна со средним диаметром 24 мкм и сохранению его прочности достигается при использовании новых композиций белорусских био-препаратов, содержащих пектиназу и низкотемпературную целлюлазу. Данное технологическое решение позволит использовать такой котонин*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения задания проекта № T22УЗБ-062.

для замены хлопка в большей доле при изготовлении смесовой пряжи высоких номеров.

*Cotonisation of flax fiber is one of the ways to increase the complete use of flax fiber raw materials in textile production, since it allows to replace cotton fiber with cottonised flax fiber in yarn manufacture. Traditional methods of flax fiber process have a number of disadvantages associated with the use of chemicals that adversely affect the environment, and with obtaining fiber that is insufficiently fine for the production of fine yarn. The object of research was cottonised flax fiber obtained mechanically at the RUPTP "Orsha Linen Mill". To determine the transverse size of the fiber (diameter), the method of optical microscopy was used.. The article presents the results of a study of the influence of biochemical decoction conditions using new enzyme preparations from a Belarusian manufacturer on the geometric and strength properties of cottonised flax fiber. The longitudinal dimensions (length) of the fiber, the number of short fibers and uniformity were determined using the devices of the measuring system USTER LVI. It was established that the preliminary enzymatic treatment of pectin-amide made it possible to obtain fiber whose fineness and physical and mechanical properties are not inferior to fiber prepared using traditional alkaline boiling technology.. Treatment with cellulolytic enzymes at concentrations greater than 3 g/l significantly increased the short fiber index and decreased fiber strength. It has been established that the greatest effect in reducing the upper average fiber length to 36.95 mm, obtaining thin fiber with an average diameter of 24 microns and maintaining its strength is achieved when using new compositions of Belarusian biological products containing pectinase and low-temperature cellulase. This technological solution will make it possible to use such cottonin to replace cotton in a larger proportion in the production of high-number blended yarn.*

**Ключевые слова:** котонизированное льняное волокно, биохимическая обработка, пектинолитические и целлюлолитические ферменты, длина волокна, диаметр волокна, индекс коротких волокон, разрывная нагрузка.

**Keywords:** cottonised flax fiber, biochemical treatment, pectinolytic and cellulolytic enzymes, fiber length, fiber diameter, short fiber index, breaking load.

### *Введение*

Льноводство, исторически сложившаяся отрасль сельского хозяйства в Республике Беларусь, имеет значительный потенциал для удовлетворения потребностей в текстильной промышленности [1]. Однако в последние годы посевные площади льна и объемы производства льноволокна сократились [2]. Следовательно, возникает реальная необходимость применения новых технологий глубокой переработки льна, рационального использования и создания полностью безотходного производства льноволокна. Известно, что в общей доле льняного волокна значительная часть приходится на короткое волокно, а также об-

разующиеся при переработке трепальные отходы.

Опыт зарубежных стран и анализ отечественных технических и технологических решений по рациональному использованию короткого льняного волокна позволяет считать наиболее перспективным направлением получение котонина для выработки смесовых пряж и других текстильных материалов, в том числе для армирования полимерных композитов [3...5].

В настоящее время на предприятии «Оршанский льнокомбинат» (Республика Беларусь) применяется химико-механическая технология котонизации льняно-

го волокна, включающая стадию механической обработки на линии производства котонина Temafa-Ritter (Германия-Швейцария), а также последующую химическую обработку полученного волокна щелочным раствором при высокой температуре и при необходимости его беление с использованием пероксида водорода в аппаратах «Эко блок X-1600» (Thies, Германия). Благодаря этому процессу получается котонин, который может быть переработан в пряжу с использованием пневмомеханического способа. При этом значение тонины получаемого котонина зачастую является недостаточным для получения пряжи высоких номеров.

В последние годы наиболее изучаемым направлением создания и усовершенствования технологий получения котонина является применение биохимических процессов [6...9]. Активно ведутся исследования по поиску оптимальных ферментов и их комбинаций, позволяющих максимально эффективно удалять нецеллюлозные примеси из льняного волокна и получать котонин с улучшенными характеристиками. Особое внимание уделяется использованию пектиназ для удаления пектиновых веществ, а также целлюлаз для расщепления целлюлозных микрофибрилл и повышения гибкости волокна. Ключевыми задачами являются подбор активности и состава ферментных композиций, оптимизация параметров процесса ферментативной обработки (температура, продолжительность, рН среды) для минимизации повреждения целлюлозной основы волокна и максимального сохранения его прочности.

Кроме того, использование ферментных технологий для обработки льняного волокна представляет собой перспективный подход, который не только позволяет

улучшить качество и экономическую эффективность производства, но и имеет положительное влияние на экологическую составляющую производства. В отличие от традиционных химических методов обработки ферментные процессы обеспечивают более мягкие условия и требуют меньшего количества энергии и водных ресурсов, снижая отрицательное воздействие на окружающую среду [10].

Цель данного исследования состояла в выявлении закономерностей изменения геометрических и прочностных свойств льняного котонина при его ферментативной обработке с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя, что позволило бы рекомендовать новые составы варочных композиций и совершенствовать технологию котонизации отечественного льноволокна.

#### *Материалы и методы*

Объектом исследования являлось льняное котонизированное волокно, полученное механическим способом на линии котонизации Temafa-Ritter на производственных мощностях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» (г. Орша, Республика Беларусь).

#### *Ферменты и методы определения активности*

Исследовали эффективность ферментных препаратов производства ООО «Фермент» (Республика Беларусь): пектиназы, целлюлаз: нейтральной целлюлазы NC720, кислой ЭНЗИТЕКС ЦКП и низкотемпературной, а также липазы Липрозим Стандарт и их комбинаций в процессе биообработки льняного котонизированного волокна. Характеристики препаратов, использованных в настоящем исследовании, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Ферментный препарат	Ферментативная активность и ее численное значение	Оптимальный рН диапазон
Нейтральная целлюлаза NC720	Целлюлазная 1 460 ед/см <sup>3</sup>	5...7
ЭНЗИТЕКС ЦКП	Целлюлазная 653 ед/см <sup>3</sup>	5...5,5
Низкотемпературная целлюлаза	Целлюлазная 7248 ед/см <sup>3</sup>	5...7
Пектиназа	Пектатлиазная 324 ед/см <sup>3</sup>	7...9
	Пектинлиазная 49 ед/см <sup>3</sup>	
	Полигалактуронозная 360 ед/см <sup>3</sup>	
Липрозим Стандарт	Липазная 5 230 ед/см <sup>3</sup>	7...9

Пектинлиазную активность определяли по аналогии с методикой определения пектатлиазной активности, но в качестве субстрата использовали 0,4 % раствор яблочного пектина (Sigma 93854, степень метоксирования 50-75 %) в 0,05 М глицин-NaOH буферном растворе с pH 9,0. За единицу пектинлиазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на яблочный пектин за одну минуту при температуре 45°C и pH 9,0 образуется 1 микромоль ненасыщенных олигосахаридных продуктов реакции.

Полигалактуроназную активность определяли титриметрическим методом. В качестве субстрата использовали 1 % водный раствор пектина из кожуры цитрусовых (Sigma P9135) в 0,1 М цитратном буфере. За единицу полигалактуроназной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на пектин образуется 1 мг галактуроновой кислоты за один час при температуре 50 °С и pH 3,5.

Целлюлазную активность определяли спектрофотометрическим методом с 3,5-динитросалициловой кислотой (ДНС реактивом), основанным на протоколе Миллера [12]. В качестве субстрата использовали 1 % раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Sigma 21902) в 0,1 М ацетатном буферном растворе с pH 5,0 либо в 0,1 М фосфатном буферном растворе с pH 6,0. За единицу целлюлазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы за одну минуту при температуре 40°C и pH 5,0 (6,0) образуется 1 микромоль восстанавливающих сахаров в пересчете на глюкозу.

Определение липазной активности проводили согласно [13] в модификации. В качестве субстрата использовали *n*-нитрофенилпальмитат (0,3 г/л) в 0,05 М трис-солянокислом буферном растворе с pH 8,0 с добавлением гуммарабика (0,1 г/л), дезоксихолата натрия (0,2 г/л) и изопропанола (100 г/л). Метод основан на фотометрическом определении *n*-нитрофенола, образующегося в результате дей-

ствия липазы на субстрат *n*-нитрофенилпальмитат. За единицу липазной активности принято такое количество фермента, при действии которого на субстрат образуется 1 мкмоль *n*-нитрофенола за одну минуту при температуре 40°C и pH 8,0.

*Методика ферментативной обработки волокна*

Обработку волокна осуществляли в растворе ферментного препарата с заданным уровнем pH при температуре 50 °С в течение 120 минут. При обработке волокна значение pH варочного раствора составляло 8,1, нейтральной целлюлазой NC720 – 6,0. Концентрация ферментного препарата пектиназы в растворе варьировалась в диапазоне от 0 до 10 г/л, целлюлазы – от 0 до 5 г/л. Концентрация двухкомпонентных ферментных композиций составляла 3,0 г/л. В составе варочного раствора содержится смачиватель NR520 на основе фосфорных эфиров этоксилированных спиртов (поставщик ООО «Фермент», Республика Беларусь) в концентрации 1 г/л. Модуль ванны составлял 1:15. После обработки волокно последовательно промывали горячей и холодной водой, отжимали и сушили при температуре 60 °С в сушильном шкафу.

*Методика традиционной щелочной отварки волокна*

Механически котонизированное волокно подвергали обработке в течение 120 минут при температуре 98±2 °С в растворе, который содержал 7 г/л гидроксида натрия и 1 г/л смачивателя. Модуль ванны составлял 1:15. Затем волокно промывали горячей и холодной водой, отжимали и сушили при температуре 60 °С в сушильном шкафу.

*Методики оценки физико-механических свойств котонизированного льняного волокна*

Физико-механические характеристики исходного и обработанного льняного волокна определяли с использованием устройств измерительной системы USTER LVI, установленной в лаборатории кафедры технологии текстильных материалов



Витебского государственного технологического университета.

При помощи прибора Fibrograph 730 определяли характеристики длины волокна: среднюю длину ML (Mean Length), верхнюю среднюю длину UHML (Upper Half Mean Length), индекс равномерности UI (Uniformity Index), индекс коротких волокон SFI (Short Fibers Index), предварительно формируя штапель волокон с использованием устройства USTER LVI Fibrosampler 192.

Потерю массы ( $\Delta m$ , %) определяли как соотношение разницы массы волокна до и после обработки к массе волокна до обработки с учетом влажности образца.

Для определения диаметра волокна сначала подготавливали штапель путем расчесывания пучка волокон, затем, используя микроскоп Альтами MET 5T, получали изображение волокон с помощью камеры микроскопа и обрабатывали его программным обеспечением Altami Studio 4.0 RC. Для каждого образца проводили 210 измерений. Статистическую обработку полученных данных, а также расчет значений максимального ( $d_{\text{макс}}$ ), среднего ( $d_{\text{ср}}$ ), медианного ( $d_{\text{мед}}$ ) диаметра и перцентиля D95 осуществляли с использованием программного обеспечения TIBCO Statistica 13.5.017.

Разрывную нагрузку котонина определяли на разрывной машине WDW-20E, для чего готовили штапель волокна, закрепляли между зажимами на расстоянии 3 мм и подвергали деформированию со скоростью 10 мм/с. Рассчитывали удельную разрывную нагрузку волокна как соотношение разрывной нагрузки волокна к линейной плотности, которую в свою очередь вычисляли по формуле [14]:

$$T_B = \frac{d_{\text{ср}}^2 \gamma}{35,7^2}. \quad (1)$$

Содержание пектиновых веществ определяли путем их экстракции раствором лимоннокислого аммония из волокна с последующим спектрофотометрическим анализом экстракта по окрашенному комплек-

су полимеров с *o*-толуидиновым реагентом при длинах волн 365, 385 и 630 нм [15].

#### Результаты и обсуждение

Авторами работ [16, 17] установлено, что существует тесная взаимосвязь между химическим составом льняного волокна и его физико-механическими свойствами. Важное значение имеет удаление полимерных примесей, включая лигнин, гемицеллюлозу и пектиновые вещества. Эти компоненты оказывают значительное влияние на качество волокна, определяя его прочность, гибкость и другие характеристики. Одни из важнейших примесных полимеров, пектины присутствуют в срединных пластинках и инкрустах, которые образуют поверхностные отложения на волокне, состоящие из остатков камбия и паренхимных тканей. В связи с этим одной из задач исследования стала оценка толщины обработанного волокна в зависимости от концентрации пектинолитического фермента в варочном растворе. Показано (рис. 1 – зависимость диаметра волокна от концентрации пектиназы), что с увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе диаметр волокна снижается. Уменьшение величины диаметра указывает на снижение в образце количества склеенных волокон большой толщины, а соответственно на увеличение расщепленности льняного волокна при его обработке раствором пектиназы.

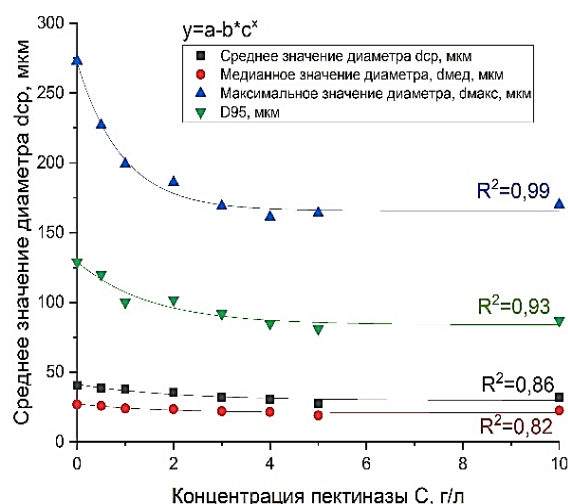


Рис. 1

При концентрации пектинолитического фермента в варочном растворе 3...4 г/л (табл. 2 – показатели диаметра сурового и традиционно подготовленного котонина) показатели поперечных размеров биообработанного льняного волокна сопоставимы с показателями диаметра волокна, подго-

товленного по традиционной схеме в процессе щелочной отварки, а при концентрации фермента 5 г/л среднее и медианное значения диаметра биообработанного волокна на 8,3 и 9,5 % меньше, чем у традиционно подготовленного волокна, соответственно.

Т а б л и ц а 2

Образец/обработка	Среднее значение диаметра $d_{\text{ср}}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{\text{мед}}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{\text{макс}}$ , мкм	D95, мкм
Суровый котонин	40,3	26,0	251	112
Традиционная щелочная отварка	30,3	21,0	176	81

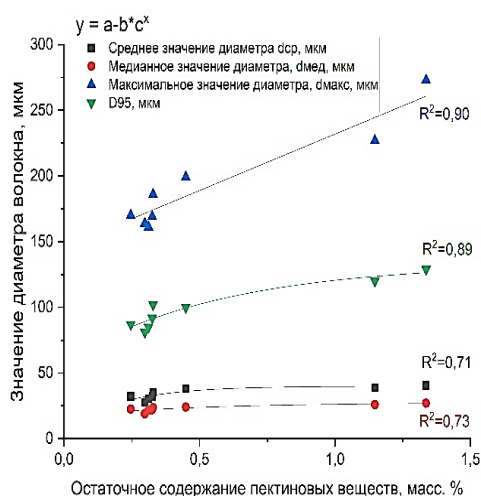


Рис. 2

Ранее было показано, что эффективная деструкция основной массы пектиновых примесей в межволоконных связующих образованиях обеспечивается при воздействии растворов с концентрацией пектиназы 2...3 г/л. При повышении концентрации добиться существенного снижения содержания остаточного пектина уже не представлялось возможным [18]. В то же время, изучая зависимость значений диаметра от остаточного содержания пектиновых веществ в волокне, представленную на рис. 2, можно заметить, что в случае максимального значения диаметра и процента D95 коэффициенты детерминации составляют 0,89 и 0,90, что позволяет признать предложенную модель хорошей. При этом коэффициенты детерминации моделей, описывающих зависимость среднего и

медианного значений диаметра от остаточного содержания пектиновых веществ, существенно меньше.

Можно предположить, что хорошая корреляция значений остаточного содержания пектиновых веществ со значениями  $d_{\text{макс}}$  и D95 объясняется удалением пектина не только из инкрустов и межклеточных образований, но также из срединных пластинок, что позволяет повысить расщепленность волокна, то есть увеличить количество элементарных волокон. В то же время толщина элементарного волокна не может зависеть только от содержания пектиновых веществ, поэтому высокой корреляции  $d_{\text{ср}}$  и  $d_{\text{мед}}$  от содержания остаточного пектина ожидаемо не наблюдается.

Ферментативная отварка пектиназой приводит к значительно меньшей потере массы волокна, более чем в два раза, по сравнению с традиционной щелочной обработкой при высокой температуре (табл. 3 – физико-механические показатели котонина сурового, отваренного в щелочном растворе и растворе пектиназы). В контрольном опыте с нулевой концентрацией фермента потеря массы волокна существенно ниже, чем в опытах в присутствии фермента, что, несомненно, указывает на извлечение полимерных примесей из волокна под действием фермента. Вероятно, потеря массы в 6,6 % в нулевом опыте обусловлена удалением из волокна как водорастворимых веществ, так и веществ, растворимых в слабощелочных растворах, – белков, части пектиновых веществ и ге-



мицеллюлозы. В то же время зависимость потери массы волокна от концентрации пектолитического фермента не выявлена, что свидетельствует о его низкой деструктивной способности.

Длина волокна описывается двумя показателями – средней длиной (ML) и верх-

ней средней длиной (UHML). Значение верхней средней длины равно средней массодлине наиболее длинных волокон образца, составляющих 50 % его массы.

Таблица 3

Образец/обработка	Концентрация фермента С, г/л	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы Δm, %	Удельная разрывная нагрузка, Р <sub>уд.</sub> , сН/текс
Суровый (необработанный) котонин	-	36,04	43,66	82,5	5,2	-	27,33
Традиционная щелочная отварка	-	30,72	40,11	76,6	6,7	23,23	19,43
Отварка пектиназой	0,0	34,36	43,35	79,3	5,9	6,60	25,10
	0,5	34,12	43,05	79,3	5,9	10,26	22,01
	1,0	34,07	43,33	78,6	5,6	10,44	21,54
	2,0	33,60	42,97	78,2	5,7	10,17	22,35
	3,0	32,70	42,33	77,3	6,5	10,45	22,11
	4,0	30,20	39,27	76,9	6,8	10,60	22,17
	5,0	29,88	40,12	74,5	7,7	10,48	22,43
	10,0	29,18	38,72	75,3	7,1	10,52	22,05

При обработке льняного котонина как традиционным, так и ферментативным способом показатели длины ML и UHML ожидаемо снизились. Наблюдалась тенденция к уменьшению показателей длины с увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе с одновременным снижением индекса равномерности образца. Показатели длины волокна, полученного традиционным способом, были сопоставимы со значениями для ферментативно обработанного волокна в растворе с концентрацией фермента 4 г/л и выше и составили не более 30,20 мм для ML и не более 40,12 мм для UHML.

Удельная разрывная нагрузка котонизированного льняного волокна, подготовленного по традиционной технологии, в среднем была на 13,7% меньше, чем после ферментативной обработки. Установлено, что концентрация фермента в варочном растворе не оказывает влияния на прочностные характеристики волокна, незначительные различия показателя от образца к образцу, вероятно, обусловлены неравномерностью льняного волокна в целом.

Обработка волокна нейтральной целлюлазой NC720 не привела к получению более тонкого волокна по сравнению с традиционной технологией или ферментативной отваркой пектиназой, при этом существенно снизились прочностные характеристики волокна – разрывная нагрузка оказалась ниже в 5,5...8,8 раза для волокна, прошедшего отварку целлюлазой. Кроме того, наблюдалось существенное снижение длины волокна и увеличение индекса коротких волокон, а значения обоих показателей закономерно изменялись с увеличением концентрации целлюлазы в варочном растворе (табл. 4 – диаметр и физико-механические свойства волокна, обработанного нейтральной целлюлазой NC720). Различия в потере массы волокна в контрольном опыте с пектиназой и целлюлазой, вероятно, обусловлены использованием растворов с различным значением pH – слабощелочного в первом случае и слабокислого во втором, что привело к избирательному извлечению различных примесей.

Таблица 4

№№ п/п	Концентрация фермента С, г/л	Среднее значение диаметра $d_{cp}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{мед}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{макс}$ , мкм	D95, мкм	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы $\Delta m$ , %	Удельная разрывная нагрузка $R_{уд}$ , сН/текс
1	0,0	40,4	28,0	280	134	34,45	40,20	77,1	6,8	7,32	23,35
2	1,0	38,4	24,0	193	119	24,88	35,58	69,9	12,6	10,63	4,59
3	3,0	31,5	25,0	173	82	21,50	30,22	71,7	29,4	10,98	4,41
4	5,0	33,3	21,0	132	84	19,79	27,97	70,8	38,7	11,77	2,49

С целью преодоления высокого деструктурирующего действия целлюлазы на льняное волокно и изучения ее комплексного действия совместно с другими ферментами с учетом описанных выше опытов были изготовлены двухкомпонентные ферментные композиции оптимизированного состава на основе пектиназы, различных типов целлюлаз и липазы.

Оценивая результаты эксперимента (табл. 5 – диаметр и физико-механические свойства волокна, обработанного двухкомпонентными ферментными композициями), можно заметить, что оптимизированный ферментный состав позволил избежать критического снижения прочностных характеристик обработанного волокна и получить значения индекса коротких волокон в пределах нормы.

Таблица 5

Состав/ферментативная активность, ед/мл	Среднее значение диаметра $d_{cp}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{мед}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{макс}$ , мкм	D95, мкм	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы $\Delta m$ , %	Удельная разрывная нагрузка $R_{уд}$ , сН/текс
Отварка пектиназа/низкотемпературная целлюлаза пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....98	22,0	19,0	101	49	26,50	36,95	72,0	9,4	10,24	22,20
Отварка пектиназа/Липрозим Стандарт пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 липаза.....3660	32,6	23,4	147	88	31,90	41,35	76,7	7,1	10,57	23,81
Отварка пектиназа/ЭНЗИТЕКС ЦКП пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....42	27,0	21,0	151	76	29,70	39,27	75,8	7,5	13,70	22,36
Отварка пектиназа/нейтральная целлюлаза пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....480	24,0	20,0	105	57	27,40	36,45	75,3	8,5	10,95	19,42

Важно отметить, что значения средней длины и верхней средней длины образцов волокна ниже, чем в экспериментах с пектиназой, что позволяет получать волокна, по длине приближенные к хлопковому волокну в большей степени [19]. Наилучший результат показала смесь низкотемпературной целлюлазы и пектиназы – хорошая то-нина полученного волокна и минимальное значение средней длины волокна, равное 26,50 мм, в совокупности с сохранением прочностных свойств на необходимом уровне. В то же время индекс равномерности распределения волокна по длине меньше, а индекс коротких волокон больше, чем в случае других двухкомпонентных композиций. Несмотря на это полученные мажорные характеристики волокна – средний диаметр и длина – позволяют рекомендовать данную композицию к использованию.

## ВЫВОДЫ

Установлены закономерности изменения геометрических и прочностных свойств льняного котонина при его биообработке индивидуальными ферментными препаратами, а также их композициями.

Показано, что обработка пектиназой в концентрации 4...5 г/л приводит к получению волокна, сопоставимого по толщине с волокном после традиционной щелочной отварки. Использование индивидуально целлюлаз приводит к значительному снижению прочностных характеристик льняного волокна. Применение двухкомпонентных ферментных композиций на основе пектиназы и целлюлазы позволяет сохранить разрывную нагрузку волокна на уровне нормированных значений.

Установлено, что наибольший эффект по снижению верхней средней длины волокна до 36,95 мм, получению тонкого волокна со средним диаметром 22 мкм и сохранению его прочности достигается при использовании композиции, содержащей пектиназу и низкотемпературную целлюлазу. Обработка предложенным ферментным составом позволяет получить котонизированное льняное волокно с улучшен-

ными основными характеристиками в сравнении с традиционной щелочной отваркой.

Результаты исследования могут найти применение при совершенствовании технологии производства котонизированного льняного волокна с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунув В.А., Алексеенко А.С., Цайц М.В. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №2. С. 267...271.
2. Статистический ежегодник 2022 Национального статистического комитета Республики Беларусь. – <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiibet4h4icu0kdluroipo8.pdf/> (Дата обращения: 25.06.2023).
3. Cierpucha W., Kozłowski R., Mańkowski J., Waśko J., Mańkowski T. Applicability of Flax and Hemp as Raw Materials for Production of Cotton-like Fibres and Blended Yarns in Poland // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004. №47. P. 13...18.
4. Пащин Е.Л. Направление использования льна взамен хлопка // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021. №2. С. 24...30. – [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2021\\_02\\_24](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_02_24).
5. Калинин Е.Н., Ершов С.В., Кокиаров С.А., Лепилова О.В. Биомодификация льноволокнистого наполнителя для пропитки жидким связующим // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2023. № 2. С. 165...175. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2023\\_2\\_165](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_2_165).
6. Antonov V., Marek J., Bjelkova M., Smirows P., Fischer H. Easily available enzymes as natural retting agents // *Biotechnol. J.* 2007. Vol. 2. №3. P. 34...346.
7. Карев А.С., Чешкова А.В., Белякова Т.Н., Захарова И.М., Воронин А.М. Влияние влажности короткого льняного волокна на процесс ферментно-механической котонизации // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2010. № 7. С. 34...37.
8. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашеных котонинсодержащих тканей // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 5. С. 62...68.
9. Чешкова А.В., Логинова В.А., Захарова И.М., Фролова Т.С. Перспективы маломодульных ферментативных экотехнологий котонизации // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. Т. 46. №4. С. 20...26.
10. Kozłowski R., Czaplicki Z., Zareba S., Mańkowski J. OE Cotton Yarns with a High Content of Enzyme-Modified Flax Fibers // *Journal of Natural Fibers*. 2012. Vol.9. №3. P.137...149. – <https://doi.org/10.1080/15444078.2011.630224>.

11. Zheng X., Zhang Y., Liu X., Li C., Lin Y., Liang S. High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From *Bacillus* sp. RN1 in *Pichia pastoris* With Potential in Ramie Degumming // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. №8. article 850. – <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00850>

12. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // *Analytical Chemistry*. 1959. Vol. 31. №3. P. 426...428. – <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

13. Lewis D.R., Liu D.J. Direct Measurement of Lipase3Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay // *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*. 2012. Vol. 1. №3. – <https://doi.org/10.4172/2167-065x.1000103>.

14. Малюшевская А.П., Краснянская О.Н., Сарибеков Г.С., Тиманов В.Н., Малюшевский П.П. Исследование прядильной способности льноволокна, котонизированного электрическими разрядами // *Электронная обработка материалов*. 2004. № 3. С. 37...40.

15. Усов А.И., Яроцкий С.В. Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи ортолуидинового реагента // *Известия АН СССР. Серия химическая*. 1974. № 4. С. 877...880.

16. Кокиаров С.А., Алеева С.В., Скобелева О.А., Кудряшов А.Ю. Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца «Зарянка» и «Могилевский-2» // *Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология*. 2011. Т. 54. №6. С. 93...96.

17. Алеева С.В. Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.02 / Алеева Светлана Викторовна. Иваново, 2014. 389 с.

18. Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н. Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2022. №2. С. 94...103. – <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-94-103>.

19. Назарова А.Б., Акперов З.И., Мамедова Р.Б., Гусейнова Л.А., Абдулалиева Г.С., Мамедова З.Б. Изучение разнообразия генофонда хлопчатника (*Gossypium L.*) по хозяйственным и качественным признакам волокна // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 11. С. 15...19.

## REFERENCES

1. Sharshunov V.A., Alekseenko A.S., Tsaitz M.V. State of the flax industry of the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency // *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2019. №2. P. 267...271.

2. Statistical Yearbook 2022 of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniibet4h4icu0kdlituroipo8.pdf/> (Date of circulation: 25.06.2023).

3. Cierpucha W., Kozłowski R., Mańkowski J., Waśko J., Mańkowski T. Applicability of Flax and Hemp as Raw Materials for Production of Cotton-like Fibres and Blended Yarns in Poland // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004. №47. P. 13...18.

4. Pashin E.L. Direction of flax utilization instead of cotton // *Agrarny Vestnik Nechernozemye*. 2021. №2. P. 24...30. – [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2021\\_02\\_24](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_02_24).

5. Kalinin E.N., Ershov S.V., Koksharov S.A., Lepilova O.V. Biomodification of flax-fiber filler for impregnation with liquid binder // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. № 2. С. 165...175. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2023\\_2\\_165](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_2_165).

6. Antonov V., Marek J., Bjelkova M., Smirous P., Fischer H. Easily available enzymes as natural retting agents // *Biotechnol. J*. 2007. Vol. 2. №3. P. 34...346.

7. Karev A.S., Cheshkova A.V., Belyakova T.N., Za-Kharova I.M., Voronin A.M. Influence of moisture content of short flax fiber on the process of enzyme-mechanical cottonization // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2010. № 7. P. 34...37.

8. Toporishcheva N.A., Mukhina E.N., Cheshkova A.V. Improvement of biochemical technologies of pre-treatment for obtaining of impotanted of colored flex-containing cloth // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. № 5. P. 62...68.

9. Cheshkova A.V., Loginova V.A., Zakharova I.M., Frolova T.S. Prospects of small-module enzymatic ecotechnologies of cottonization // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. Vol. 46. №4. P. 20...26.

10. Kozłowski R., Czaplicki Z., Zareba S., Mańkowski J. OE Cotton Yarns with a High Content of Enzyme-Modified Flax Fibers // *Journal of Natural Fibers*. 2012. Vol. 9. №3. P. 137...149. – <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.630224>.

11. Zheng X., Zhang Y., Liu X., Li C., Lin Y., Liang S. High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From *Bacillus* sp. RN1 in *Pichia pastoris* With Potential in Ramie Degumming // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. №8. article 850. – <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00850>

12. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // *Analytical Chemistry*. 1959. Vol.31. №3. P. 426...428. – <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

13. Lewis D.R., Liu D.J. Direct Measurement of Lipase3Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay // *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*. 2012. Vol. 1. №3. – <https://doi.org/10.4172/2167-065x.1000103>.

14. Malyshevskaya A.P., Krasnyanskaya O.N., Saribekov G.S., Timanov V.N., Malyshevskiy P.P. Investigation of spinning ability of flax-fiber cottonized by

electric discharges // Electronic processing of materials. 2004. № 3. P. 37...40.

15. *Usov A.I., Yarotsky S.V.* Separate determination of hexoses and pentoses using o-toluidine reagent // Izvestiya AN USSR. Chemical Series. 1974. № 4. P. 877...880.

16. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Skobeleva O.A., Kudryashov A.Yu.* Polymer composition of flax fiber trepa-fiber of selection varieties of long-staple flax "Zaryanka" and "Mogilevsky-2" // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya. 2011. T. 54. №6. P. 93...96.

17. *Aleyeva S.V.* Methodological bases of co-development of the processes of biochemical modification of flax textile materials: dis....doctor of tech-

nical sciences: 05.19.02 / Aleyeva Svetlana Viktorovna. Ivanovo, 2014. 389 p.

18. *Lisovsky D.L., Yasinskaya N.N.* Effect of enzyme treatment on the properties of flax cottonin // Bulletin of Vitebsk State Technological University. 2022. №2. P. 94...103.

19. *Nazarova A.B., Akperov Z.I., Mamedova R.B., Huseynova L.A., Abdulaliev G.S., Mamedova Z.B.* Study of the diversity of the gene pool of cotton (*Gossypium L.*) on the economic and qualitative traits of fiber // Uspekhi sovremennogo estesvoznaniya. 2019. № 11. P. 15...19.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий Витебского государственного технологического университета. Поступила 06.07.23.

УДК 677.027.5

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_129

## ТЕКСТИЛЬ С МАСКИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

### TEXTILE WITH MASKING PROPERTIES

*A.P. ЗИМНУРОВ, Р.А. ГРИШИН, О.В. КОЗЛОВА, О.И. ОДИНЦОВА, А.В. ЧЕШКОВА*

*A.R. ZIMNUROV, R.A. GRISHIN, O.V. KOZLOVA, O.I. ODINTSOVA, A.V. CHESHKOVA*

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: ovk-56@mail.ru

*Работа посвящена разработке технологии получения эффекта ИК-ремиссии на текстильном материале технического назначения. Показана возможность придания колористических свойств с дополнительным эффектом ночной маскировки для негорючих параарамидных тканей путем нанесения на поверхность тканей на атомарно-молекулярном уровне соединений металлов (диоксида титана, нитрида титана) с применением низкотемпературной плазмы.*

*В работе использованы современные спектроколориметрические методы исследования. Разработана технология нанесения функциональных покрытий методом плазменного напыления и поверхностной модификации текстильных материалов пигментно-полимерным составом. Исследованы спектральные характеристики полученных окрасок как в видимой, так и в ближней ИК-области спектра. Показано снижение ремиссии в ИК-области более чем на 25%, что позволяет получить текстильные материалы с комплексом уникальных свойств – огнезащитных и маскировочных.*

*The work is devoted to the development of technology for obtaining the effect of IR remission on a textile material for technical purposes. The possibility of imparting coloristic properties with an additional effect of night masking to non-combustible para-aramid fabrics by applying metal compounds (titanium dioxide, titanium nitride) to the surface of fabrics at the atomic-molecular level using low-temperature plasma is shown.*

*The work uses modern spectrophotometric research methods. A technology has been developed for applying functional coatings by plasma spraying and surface modification of textile materials with a pigment-polymer composition. The spectral characteristics of the obtained colors were studied both in the visible and in the near-IR spectral region. A decrease in remission in the IR region by more than 25% has been shown, which makes it possible to obtain textile materials with a complex of unique properties - fire retardant and camouflage.*

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, параарамидные ткани, ИК-ремиссия, маскировка, металлизированные покрытия.

**Keywords:** low-temperature plasma, para-aramid fabrics, IR- remission, camouflage properties, metalized coatings.

### *Введение*

Особое требование по маскировке в инфракрасном свете позволяет отнести камуфлированные ткани к техническому текстилю с различной сферой использования – охота, рыбалка, спортивные игры. Проблема маскировки текстильных изделий в ближней инфракрасной области спектра, которая лежит в пределах от 700 до 1100 нм, продолжает оставаться актуальной. В этой области работают современные приборы ночного видения (кроме их третьего поколения, работающего в пределах до 2000 нм и более). Все объекты в этой области имеют определенный коэффициент отражения или процент ремиссии. Даже среди специалистов, которые занимаются разработкой и производством камуфляжа, нет четкого понимания взаимосвязи между спектральными характеристиками объекта в виде кривых на графике (или показателей отражения в %) и визуальным восприятием текстильного материала в приборе ночного видения. Полному отражению объекта соответствует значение, равное 100%, а полному поглощению – значение 0%. Инфракрасные характеристики всех природных и рукотворных объектов находятся в этих пределах [1...6]. При ремиссии приблизительно 100% тело в приборе ночного видения светится белым, при 0% – полностью черное. Силуэт человека, который одет в камуфляжный костюм с эффектом ИК-ремиссии, полностью сливается с окружающей средой и теряет очертания.

Ремиссия текстильного материала зависит в большой степени от красителей, которыми окрашена или напечатана ткань. На уровень ремиссии также влияют ИК-показатели тела и волокнистый состав ткани. Камуфляж, способный маскировать объекты в видимой и инфракрасной области, должен быть сбалансирован, т. е. инфракрасный камуфляж не должен отвлекать от камуфляжа видимого цвета.

Классический способ придания текстильному материалу эффекта ИК-ремиссии подробно рассмотрен Разуваевым А.В. [7]. Технология заключается в добавлении в каждый оттенок камуфляжного рисунка черного пигмента, за счет которого уровень отражения в ИК-области спектра снижается. Этот способ хорош и имеет место в случае создания ответственных материалов, у которых должны быть четко соблюдены и колористические требования, и уровень ремиссии в соответствии с требованиями силовых структур. Каждый цвет в создаваемом рисунке формируется индивидуально и требует подбора концентраций черного пигмента, а сам процесс становится трудоемким. До недавнего времени технология, пигментные композиции и красящие вещества являлись зарубежными [8...10], и только в последнее время появились сведения о разработке учеными ИГХТУ импортозамещающих технологий получения камуфлированных рисунков при использовании отечественных связующих и пигментов, в т. ч. с эффектами ИК-ремиссии [11].

Кроме того, авторами [11, 12] рассмотрен оригинальный подход к снижению уровня ремиссии в ИК-области спектра, который является менее затратным (не нужно подрабатывать концентрации к каждому цвету текстильного рисунка), более дешевым (не используются зарубежные препараты) и универсальным (возможность совмещения модифицирующей обработки с приданием дополнительных функциональных свойств: масло-, грязе- и водоотталкивающих, огнестойких и др.). Предложено вводить черный пигмент в полимерную композицию, которой путем поверхностного ракельного нанесения модифицируют колорированную ткань. Большим преимуществом технологии является возможность использования рисунков любого масштабного формата, полученных цифровой печатью. Назначение такой ткани может быть расширено до различных сфер использования – охота, рыбалка, спортивные игры по пейнтболу, страйкболу, лазертагу и пр.

Технология получения ИК-ремиссии на текстильных материалах заключается в следующем. Напечатанный под «камуфляж» текстильный материал подвергается дополнительно поверхностной модификации композицией, содержащей водную дисперсию акрилового полимера, акриловый загуститель и черный пигмент (вязкость композиции регулируется концентрацией загустителя в зависимости от используемого способа модификации). Композиция может быть нанесена на ткань как сетчатым шаблоном, так и ракельным способом. После сушки и фиксации при температуре 140-170 °С в течение 2-3 минут рисунок приобретает свойство ИК-ремиссии. Авторами исследованы спектральные характеристики полученных окрасок основными цветами системы CIE Lab и показаны возможности снижения ремиссии в ИК-области спектра [12...13].

Целью настоящей работы явилась оценка возможности получения эффекта ИК-ремиссии на параарамиде путем использования плазменного напыления различных металлов.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектами исследований являлись негорючие параарамидные ткани, которые находят широкое применение в современной технике, транспорте, спорте, а также при создании высоконагруженных текстильных конструкций, высокопрочных композитов и изделий на их основе и являются особенно перспективными за счет хорошей прочности, сверхвысокой термической устойчивости [14...17]. Для достижения эффекта ИК-ремиссии на текстильном материале использован метод ионно-плазменного магнетронного распыления на атомарно-молекулярном уровне соединений металлов – диоксида титана и нитрида титана.

#### *Результаты и обсуждения*

Внешний вид параарамидной ткани с напылением соединений металлов – диоксида титана и нитрида титана (рис. 1), а также спектры отражения модифицированной плазмой ткани (рис. 2) свидетельствуют о том, что напыление соединений металлов на параарамидную ткань по-разному влияет на отражающие свойства материалов, особенно в ИК-области спектра.



Рис. 1

Анализ спектральных кривых показал, что покрытие из диоксида титана снижает ремиссию с 60 до 23%, из нитрида титана – с 60 до 28%.

Проведена сравнительная печать по модифицированной параарамидной ткани желтым и зеленым пигментом по трем технологиям: 1 – по классической технологии печати; 2 – по технологии с введе-



нием в краски пигмента черного; 3 – по технологии классической печати с последующей поверхностной модификацией окрасок пигментно-полимерной композицией.

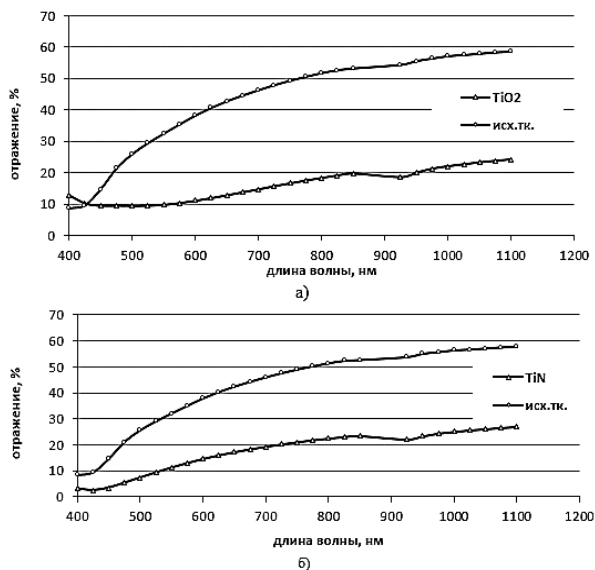


Рис. 2

На рис. 3 представлены спектральные кривые, снятые с помощью спектрофотометра Lambda с приставкой, позволяющей оценить отражение в рабочем диапазоне 250-900 нм, т. е. в зоне ИК-ремиссии.

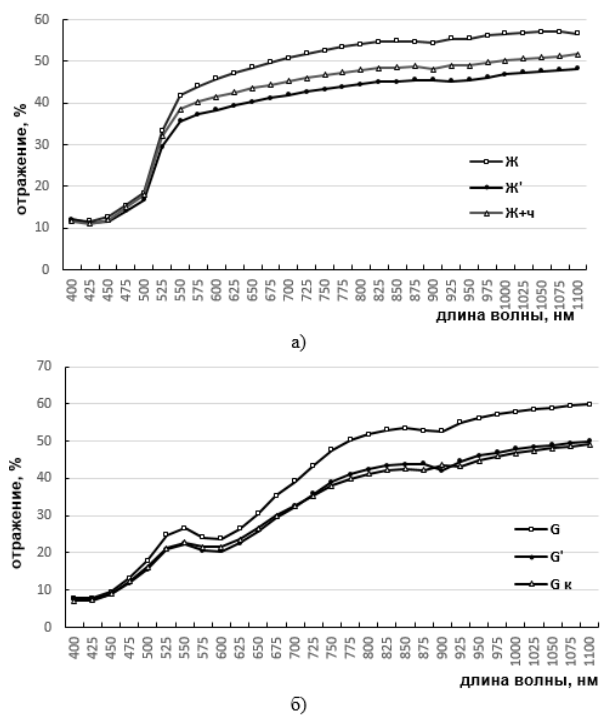


Рис. 3

При сравнении результатов печати пигментами можно отметить, что спектральные кривые практически совпадают по двум вариантам, где черный пигмент введен в краску (т. е. по классическому методу получения ИК-ремиссии), и по варианту с поверхностной модификацией пигментно-полимерной композицией, предложенной авторами [13]. В диапазоне спектра от 750 до 1100 нм коэффициент отражения снижается до 23-25%.

Положительные результаты, полученные в работе, найдут место при создании цветных изображений на модифицированных параарамидных и смесовых тканях, в том числе с рисунками под «камуфляж», обладающих маскировочными свойствами, проявляющимися как в дневное время суток, так и в ночное и позволяющими тканям оставаться невидимыми при использовании приборов ночного видения.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана технология придания текстильным материалам колористических свойств с дополнительным эффектом ночной маскировки путем напыления соединений металлов (диоксида титана, нитрида титана) при использовании низкотемпературной плазмы. Эта технология вызывает интерес при создании текстильных маскировочных огнезащитных покрывных материалов с гладкокрашеным зелено-коричневым (хаки) колоритом.

2. Исследованы спектральные характеристики полученных окрасок в ближней ИК-области спектра. Показано снижение ремиссии в ИК-области более чем на 30% при модификации параарамидной ткани соединениями металлов, что позволяет получать текстильные материалы с комплексом уникальных свойств – огнезащитных и маскировочных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петрова О.В., Шебан Г.В., Трехденева М.И. Текстильные изделия специального назначения: особенности производства // Текстиль бытовой, технический, специальный. 2003. №. 2(4). С. 25...27.



2. Стэнфорд Э. Приборы ночного наблюдения // Тактика и техника = Fight at Night. Tools, Techniques, Tactics and Training for Combat in Low Light and Darkness. М.: Издательско-торговый дом «Гранд», 2003. С. 33.

3. <https://voentorg.moskva/articles/kak-pravilno-vybrat-binokl-dlya-okhoty/> (дата обращения 20.07.2023)

4. Голицын А.А. Преимущества и недостатки цифровых прицелов для стрелкового оружия (рус.) // Спецтехника и связь. 2012. № 5-6. С. 14...18.

5. Ponomarenko V.P., Filachev A.M. First Generation of Night-Vision Devices and Thermal Imaging Systems // Infrared Techniques and Electro-optics in Russia: A History 1946-2006. SPIE Press, 2007. P. 134...135. (Technology & Engineering).

6. Ponomarenko V.P., Filachev A.M. Second-Generation Electro-Optical Devices // Infrared Techniques and Electro-optics in Russia: A History 1946-2006. SPIE Press, 2007. P. 136. (Technology & Engineering).

7. Razouvaev A. Russia. CIS. Baltics. Textile Industry. Sulphur Dyes. Sulphur Dyes Bulletin Marketing No.5, Clariant Products SA., 1998, 109-113.

8. Fortuniak K, Redlich G, Obersztyn E, Olejnik M, Bartczak A, Król I. Assessment and Verification of the Functionality of New, Multi-Component, Camouflage Materials / FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2013; 21, 5(101): 73-79.

9. <https://forum.splav.ru/index.php?/topic/742-инфракрасная-ремиссия/> дата обращения 23.03.2022.

10. Оценка и проверка работоспособности камуфляжных рисунков. – <https://studylib.net/doc/10973025/assessment-and-verification-of-the-functionality-of-new> (дата обращения 20.02.2022).

11. Зимуров А.Р., Козлова О.В., Одинцова О.И. Современное состояние и перспективы развития технологии получения текстиля с ИК-ремиссией // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2020. Т. 50, № 4. С. 40...44.

12. Санжеева Е.Б., Одинцова О.И., Козлова О.В. Современные достижения в области применения водных дисперсий акриловых полимеров в производстве текстиля // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1 (397). С. 197...200.

13. Гришин Р.А., Зимуров А.Р., Санжеева Е.Б., Козлова О.В., Одинцова О.И. Полимерное покрытие для придания текстильным рисункам эффекта ИК-ремиссии // Российский химический журнал. 2022. Т. LXVI, № 2. С. 28...32.

14. Манюков Е.А., Садова С.Ф., Баева Н.Н., Платонов В.А. Исследование процесса крашения термостойкого параарамидного волокна // Хим. волокна. 2005. №1. С. 50...53.

15. Дянкова Т.Ю., Киселев А.М. Влияние реологических свойств печатных составов на качество колористической отделки тканей из термостойких волокон // Дизайн. Материалы. Технология. 2008. № 4(7). С. 39...43.

16. Fiodorova N., Novic M., Diankova T.Yu. Optimization of pigment dyeing process of high performance fibers using feed-forward bottleneck (FFBN) neural networks mapping technique // Analytica Chimica Acta. 705 (2011). P. 148...154.

17. Дянкова Т.Ю. Интенсификаторы для непрерывных способов крашения тканей из параарамидных гетероциклических волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2007. № 4. С. 43...46.

## REFERENCES

1. Petrova O.V., Sheban G.V., Trekhdenova M.I. Textile products for special purposes production features // Textile household, technical, special. 2003. No. 2(4). P. 25...27.

2. Stanford E. Fight at Night. Tools, Techniques, Tactics and Training for Combat in Low Light and Darkness. М.: Publishing and trading house GRAND, 2003. P. 33.

3. <https://voentorg.moscow/articles/kak-pravilno-vybrat-binokl-dlya-okhoty/> (accessed 20.07.2023)

4. Golitsyn A. A. Advantages and disadvantages of digital sights for small arms (Russian) // Special equipment and communications: magazine. 2012. No. 5-6. P. 14...18.

5. Ponomarenko V. P., Filachev A. M. First Generation of Night-Vision Devices and Thermal Imaging Systems // Infrared Techniques and Electro-optics in Russia: A History 1946-2006. SPIE Press, 2007. P. 134...135. (Technology & Engineering).

6. Ponomarenko V. P., Filachev A. M. Second-Generation Electro-Optical Devices // Infrared Techniques and Electro-optics in Russia: A History 1946-2006. SPIE Press, 2007. P. 136. (Technology & Engineering).

7. Razouvaev A. Russia. CIS. Baltics. textile industry. Sulfur Dyes. Sulfur Dyes Bulletin Marketing No. 5, Clariant Products SA., 1998, 109-113.

8. Fortuniak K, Redlich G, Obersztyn E, Olejnik M, Bartczak A, Król I. Assessment and Verification of the Functionality of New, Multi Component, Camouflage Materials / FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2013; 21, 5(101): 73-79.

9. <https://forum.splav.ru/index.php?/topic/742-infrared-remission/> access date 03.23.2022.

10. Evaluation and performance testing of camouflage patterns. – <https://studylib.net/doc/10973025/assessment-and-verification-of-the-functionality-of-new>. Access date 02/20/2022.

11. Zimurov A.R., Kozlova O.V., Odintsova O.I. The current state and prospects for the development of technology for obtaining textiles with IR-remission // Izvestia of higher educational institutions. Light industry technology. 2020. V. 50. No. 4. S. 40...44.

12. Sanzheeva E.B., Odintsova O.I., Kozlova O.V. Modern achievements in the field of application of aqueous dispersions of acrylic polymers in the production of textiles // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh

Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 1 (397). P.197...200.

13. Grishin R.A., Zimmurov A.R., Sanzheeva E.B., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Polymer coating for giving textile patterns the effect of IR remission // Russian Chemical Journal. 2022. Vol. LXVI, no. 2. P. 28...32.

14. Manyukov E.A., Sadova S.F., Baeva N.N., Platonov V.A. Investigation of the dyeing process of heat-resistant parametaramid fiber // Chem. fibers. 2005. No. 1. S. 50...53.

15. Dyankova T.Yu., Kiselev A.M. Influence of the rheological properties of printing compositions on the quality of color finishing of fabrics made of heat-resistant fibers // Designs. Materials. Technology. 2008. No. 4(7). P. 39...43.

16. Fiodorova N., Novic M., Diankova T.Yu. Optimization of pigment dyeing process of high performance fibers using feed-forward bottleneck (FFBN) neural networks mapping technique // Analytica Chimica Acta. 705 (2011). P. 148...154.

17. Dyankova T.Yu. Intensifiers for continuous methods of dyeing fabrics from para-aramid heterocyclic fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2007. No. 4. P. 43...46.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов Ивановского государственного химико-технологического университета. Поступила 22.08.23.

УДК 691-41

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_134

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНОГО ПОЛОТНА С СЕРЕБРЯНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

### ELECTROMAGNETIC REFLECTING PROPERTIES OF SILVER-COATED POLYAMIDE CANVAS

*A.G. БУЛГАКОВ<sup>1</sup>, В.Т. ЕРОФЕЕВ<sup>2</sup>, П.В. МАЛЬЦЕВ<sup>3</sup>*

*A.G. BULGAKOV<sup>1</sup>, V.T. EROFEEV<sup>2</sup>, P.V. MALTSEV<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

<sup>3</sup>Юго-Западный государственный университет)

(<sup>1</sup>Central Research and Development Institute of the Ministry of Construction of Russian Federation,

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering,

<sup>3</sup>Southwest State University)

E-mail: agi.bulgakov@mail.ru

*В данной статье исследуется полиамидный материал с низкой поверхностной плотностью на предмет его возможной защиты от электромагнитного излучения (ЭМИ). Данный материал подходит для композиционных структур одежды, а также для технического применения. Эффективность экранирования электромагнитного излучения полотна, связанного из полиамидных нитей, покрытых серебром, измеренная в диапазоне частот от 0,9 до 2,4 ГГц, свидетельствует о высокой степени защиты. Проведена оценка стабильности свойств защиты от ЭМ-излучения после применения неполярных и полярных растворителей в синергии с параметрами циклического процесса влажной и сухой чистки. Результаты исследования подтвердили снижение эффективности защиты после последовательных циклов обработки материала сухой и влажной чисткой. Эффект влажной чистки по отношению к сухой более выражен, что связано с повреждением серебряного покрытия на полиамидных нитях трикотажного полотна.*

*The article is devoted to the study of a polyamide material with low surface density for its possible protection against electromagnetic radiation (EMR). This material is suitable for composite structures of clothing, as well as for technical applications. The shielding efficiency of electromagnetic radiation of a fabric knitted from polyamide threads coated with silver indicates a high degree of protection. An important key point of the work is the assessment of the consistency of protective properties against EM radiation after the use of non-polar and polar solvents in synergy with the parameters of the cyclic process of wet and dry cleaning. The results of the study confirmed a decrease in the effectiveness of protection after successive cycles of processing the material by dry and wet cleaning. The effect of wet cleaning in relation to dry cleaning is more pronounced, which is associated with damage to the silver coating on the polyamide threads of the knitted fabric.*

**Ключевые слова:** отражающие способности, напыление серебра, электромагнитное излучение, полиамидное полотно, эффективность экранирования, влажная уборка, сухая уборка.

**Keywords:** reflectivity, silver plating, electromagnetic radiation, polyamide fabric, shielding efficiency, wet cleaning, dry cleaning.

### Введение

Повышенная осведомленность об электромагнитном излучении привела к введению во всем мире новых правил для производителей электрических и электронных устройств, которые теперь должны соответствовать требованиям электромагнитной совместимости. Необходимость установления пределов электромагнитного излучения электрических и электротехнических устройств (мобильных телефонов, микроволновых печей, сигналов «радиолокационной» связи, радиопередатчиков и т.п.), излучающих ЭМ энергию в различных диапазонах частот, направлена на минимизацию возможности возникновения помех радиосвязи и проводной связи. Срок службы и эффективность электронных устройств можно увеличить за счет их защиты от электромагнитных помех [1].

На рис. 1 схематически показано распространение сигнала через слой материала со свойствами защиты от ЭМИ. Когда ЭМ-лучи проходят через среду или материал, они взаимодействуют с молекулами материала. Это явление взаимодействия можно разделить на три фазы:

- поглощение;
- отражение;
- вторичное отражение.

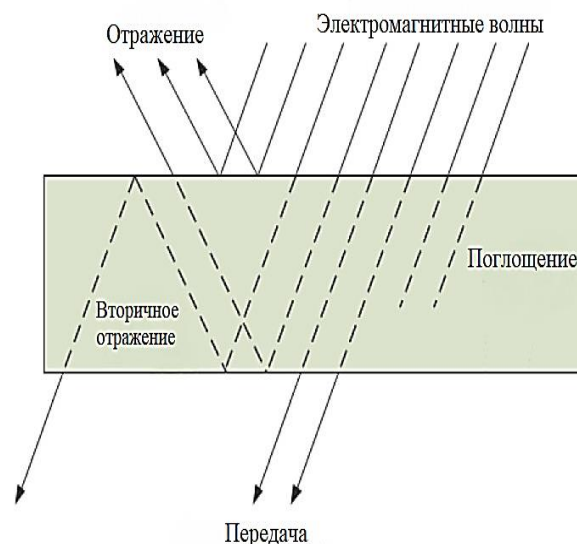


Рис. 1

Когда ЭМ-лучи [2] попадают на поверхность материала, они вызывают колебание заряда в материале. Это вынужденное колебание заряда действует как антенна и приводит к отражению, тогда как другая часть за счет колебаний преобразуется в тепловую энергию. Этот вид потери сигнала известен как затухание из-за поглощения. Таким образом, защитное свойство материала против ЭМИ основано на отражении от проводящей поверхности и поглощении в проводящем объеме. Часть

волны отражается, а остальная часть передается и ослабевает при прохождении через среду.

Совокупное влияние потерь на отражение и поглощение определяет эффективность защитных свойств материала в зависимости от его электрических и магнитных свойств, свойств поверхностной и внутренней проводимости, толщины материала, состава материала, истираемости и степени обработки [3].

Отношение уровня электрического поля на определенном расстоянии от источника без защиты (экрана) к уровню электрического поля с защитой определяется как эффективность экранирования (SE) [4]. Эффективность экранирования проводящего барьера SE в дБ представляет собой сумму потерь отражения (R), потерь поглощения (A) и потерь вторичного отражения (Rr) и рассчитывается по уравнению:

$$SE = R + A + R_r. \quad (1)$$

С целью защиты от ЭМИ в электротехнической и электронной промышленности вместо проводящих металлов или проводящих сетчатых материалов производятся и разрабатываются проводящие, легкие и гибкие структуры полотна. Снижение передачи электромагнитного излучения текстильными материалами может быть достигнуто различными способами, например, путем изменения состава, структуры или конструкции; путем включения проводящих частиц в волокна или металлических нитей и фольги в пряжи; использованием металлических покрытий, морфологии или проводящих красок, пигментов и лаков.

Проведены многочисленные исследования таких изделий, в которых имели место различные варианты конструкции и отделки. Результаты измерения показателей, определяющих свойства защиты материалов от ЭМИ, зависят не только от свойств материала, но и от размера выборки, установки измерения и источника ЭМИ. Поскольку материалы подвергаются различным циклическим механическим нагруз-

кам, а также химическим и атмосферным воздействиям, важно контролировать долговечность защитных свойств в контролируемых условиях.

Функциональный материал анализировали до и после циклической обработки в неполярных и полярных растворителях с параметрами процесса влажной и сухой чистки. Влияние растворителей и параметров процесса на изменения на поверхности материала анализировали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а защитные свойства ЭМИ контролировали путем тестирования свойств экранирования на частотах 0,9 ГГц, 1,8 ГГц, 2,1 ГГц и 2,4 ГГц.

#### *Материалы и методы*

Производителем полиамидного полотна выступает один из ведущих российских производителей полиамидных нитей и волокон – ООО «Курскхимволокно». Напыление серебра производилось компанией ООО «Хром-Пром». При напылении серебра использовался метод магнетронного распыления, который позволяет получать покрытие на рулонных материалах толщиной от 10 до 200 нанометров. При этом частицы серебра «внедряются» в волокна ткани, не меняя физических свойств материала. Благодаря разработанному протяжному механизму рулонов, установленному в вакуумной камере, существует возможность получать сравнительные объемы по площади напыления серебра.

Способ напыления серебра в глубоком вакууме уникален тем, что происходит распыление чистого серебра без каких-либо примесей. На материал наносятся именно частицы серебра, а не коллоидные соединения крахмалистого серебра. Нанесенное магнетронным методом серебро обладает всеми свойствами полноценных частиц. Толщина покрытия полотна составила в среднем 12 нанометров.

Характеристики экранирующего электропроводящего полотна из полиамидной (ПА) нити, покрытой серебром (Ag), представлены в табл. 1 [5].

Таблица 1

Состав ПА/Ag, %	80/20
Масса единицы площади, г/м <sup>2</sup>	35,8
Плотность (петельные ряды/петельные столбики), петель/100 мм	150/125

Это функциональное полиамидное полотно можно использовать в качестве функциональной подкладки в одежде или для изготовления детской одежды ввиду его мягкости на ощупь и наличия антимикробных свойств, которые стали возможными благодаря серебру [6]. Флизелин со свойствами защиты от ЭМ-излучения помещается между основным материалом и подкладкой, образуя таким образом часть композиционной структуры одежды. Одежда подвергается различным механическим и физико-химическим воздействиям, что обуславливает необходимость объективной оценки защитных свойств ее материалов или композиционных конструкций до и после воздействия различных частот. Это важный фактор для оценки срока службы одежды с защитой от ЭМИ.

Функциональный материал (ПА/Ag) подвергался циклической обработке полярным растворителем (водой) при влажной чистке и неполярным растворителем (перхлорэтиленом) при сухой чистке. Эти физико-химические процессы осуществлялись за счет синергии растворителей и параметров процесса круга Синнера: химии, механического перемешивания, температуры и времени [7]. Влажная чистка (W) – экологически чистый и малоизученный процесс для текстиля SE, который проводится в воде низкой температуры с значительным механическим перемешиванием с применением специальных гипоаллергенных моющих средств и защитных добавок, уменьшающих набухание волокон в воде. Сухая очистка (P) – это традиционный процесс с отличными очищающими свойствами, который является надежной основой для сохранения исходных свойств материала в перхлорэтилене. Трикотажное полотно ПА/Ag размерами 1 м × 1 м обрабатывали перхлорэтиленом 10 раз по норме EN ISO 3175-2, а обработ-

ку водой проводили по норме EN ISO 3175-3 [8].

*Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)*

Поверхность полотна ПА/Ag анализировали до и после циклической обработки неполярным растворителем при сухой чистке (P) и полярным растворителем при влажной чистке (W) по параметрам круга Синнера; образцы наблюдались после 1-го, 3-го, 5-го, 7-го и 10-го цикла. Несмотря на содержание серебра в полотне ПА/Ag [9], все образцы были покрыты золотом и палладием в течение 90 с с использованием напылительного устройства Emitech Mini SC7620 (Quorum Technologies). Наблюдение поверхности образцов проводили с помощью детектора SE сканирующего электронного микроскопа FE-SEM, MIRA3LMU при увеличении 500×.

*Изменение эффективности экранирования (SE) от микроволнового излучения*

Защитные свойства испытуемых образцов исследовались при следующих условиях работы:

- температура  $23 \pm 1$  °С,
- относительная влажность  $50 \pm 10\%$ .

Согласно рекомендациям IEEE-STD 299-97, MIL STD 285 и ASTM D4935-89 была спроектирована и установлена измерительная установка (рис. 3), состоящая:

- из измерительного прибора NARDA SRM 3000 [10],
- генератора сигналов HP 8350 B,
- рупорной антенны IEV: Industrija za elektrozveze (Телекоммуникационная индустрия), Любляна, тип A12 [11],
- деревянной рамы, в которую помещался образец материала ПА/Ag размером 1 м × 1 м.

На рис. 2 показана схема измерения для испытания характеристик экрана. Генератор сигналов управлялся компьютером и обеспечивал частоты 0,9 ГГц, 1,8 ГГц, 2,1 ГГц и 2,4 ГГц. Генератор подключался к рупорно-воронковой антенне коаксиальным кабелем (для диапазона 900 МГц используется дипольная антенна). Деревянный щит располагался на расстоянии 30 см от антенны и измерительного прибора – анали-

затора спектра с широкополосной антенной.

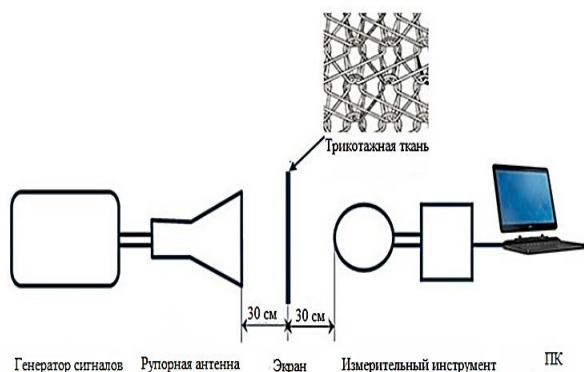


Рис. 2

Коэффициент ЭМ защиты определялся как отношение интенсивности ЭМ поля ( $E_0$ ), измеренной без полотна, к напряженности ЭМ поля ( $E_1$ ) с материалом, помещенным между источником излучения и измерительным устройством.

Эффективность экранирования SE (дБ) рассчитывали по следующим уравнениям:

$$SE = 20 \log \frac{E_0 E_0}{E_1 E_1}, \quad (2)$$

$$dSE = SE_0 - SE_p, \quad (3)$$

$$dSE = SE_0 - SE_w. \quad (4)$$

### Результаты и обсуждение

Циклическое воздействие растворителей на материал ПА/Ag в сочетании с параметрами процесса привело к изменению толщины материала, испытанного согласно EN ISO 5084:2003, как показано в табл. 2 (толщина ткани  $P_a/Ag$  до и после 10 циклов сухой (P) и влажной (W) чистки).

Т а б л и ц а 2

Ткань $P_a/Ag$	Толщина, мм
Необработанная	0,150
После 10 циклов обработки с P	0,162
После 10 циклов обработки с W	0,165

Благодаря наличию амидных связей в макромолекулах волокна ПА могут образовывать водородные связи, следовательно, они обладают лучшей способностью по сравнению с некоторыми гидрофобными полимерами поглощать влагу в присутствии полярного растворителя, например,

воды (W). Однако результаты в таблице указывают на незначительное увеличение толщины материала при влажной (W) и сухой (P) чистке по сравнению с необработанным полотном.

Выраженная в процентах изменчивость толщины полотна после 10 циклов сухой чистки в 0,5 раза превышает изменчивость толщины полотна после влажной чистки. Незначительную усадку полотна SE в процессе сухой чистки можно объяснить наличием небольшого количества воды в системе и последующей сушкой [12].

На фотографии поверхности проводящего необработанного образца ПА/Ag (рис. 4) видно равномерное покрытие серебра на полиамидной нити. Синергетическое влияние растворителя и других веществ процесса определено исследованием поверхности материала ПА/Ag с помощью сканирующего электронного микроскопа до и после 1-го, 3-го, 5-го, 7-го и 10-го циклов обработки при увеличении  $500\times$  (рис. 3 и 4).

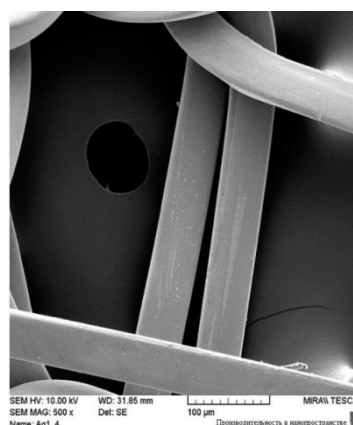


Рис. 3

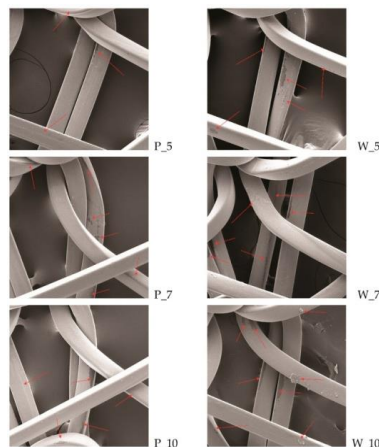


Рис. 4



Влияние неполярного растворителя (P) в синергии с параметрами процесса химической чистки можно было увидеть после пяти циклов. С увеличением числа циклов на трикотажном полотне отмечалось большее продольное повреждение серебряного покрытия на нитях, которое усиливалось в 10-м цикле. Неправильная форма повреждения и появление разрывов на серебряном покрытии свидетельствуют о более интенсивном влиянии механики как технологического фактора, приведшего к разрушению материала. Такие локальные повреждения исключают влияние растворителей, которые действовали бы более равномерно по всей поверхности.

Изменения поверхности полотна ПА/Ag под воздействием полярного растворителя (W) и параметров процесса влажной очистки были заметны после 3-го цикла. Динамика изменений была более интенсивной по сравнению с сухой чисткой (P). Кроме того, после 10 циклов влажной очистки (W\_10) на поверхности образца можно было увидеть неравномерные налеты, что указывает на взаимодействие некоторых веществ в процессе. Изображения СЭМ показывают, что полярный растворитель в сочетании с параметрами процесса влажной чистки вызвал более высокую степень продольного и неравномерного локального повреждения полотна ПА/Ag по сравнению с неполярным растворителем и параметрами процесса сухой чистки [13].

При завершении 25 циклов стирки полотна с серебряным покрытием толщина покрытия практически не изменилась.

Полиамид, как чистый полимер, проявляет непроводящие свойства, а покрытие Ag повышает электропроводность материала и его экранирующую эффективность.

Эффективность экранирования (SE) лицевой и обратной стороны полотна ПА/Ag до обработки растворителем при параметрах процесса на частотах 0,9 ГГц, 1,8 ГГц, 2,1 ГГц и 2,4 ГГц показана на рис. 5.

Защитные свойства лицевой и обратной стороны необработанных образцов ПА/Ag на всех частотах практически идентичны,

как показано на рис. 6. Наибольшая степень защиты получена на частоте 2,4 ГГц (24,1 дБ), а наименьшая степень защиты достигнута на частоте 0,9 ГГц (SE = 14,8 дБ). Несмотря на разницу почти в 10 единиц, достигнутая степень защиты >10 дБ представляет собой приемлемую степень защиты.

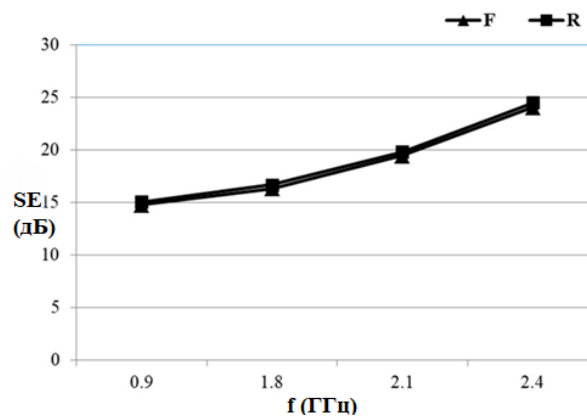


Рис. 5

Первый цикл обработки полотна ПА/Ag с сухой (P) и влажной (W) чисткой снизил степень защиты на частоте 0,9 ГГц. Влажная чистка (W) оказала более сильное влияние по сравнению с сухой чисткой (P), при этом наибольшая разница свойств SE подтвердилась после трех циклов. Практически линейное и параллельное снижение свойств SE продолжалось после 5-го, 7-го и 10-го циклов (рис. 6) [14].

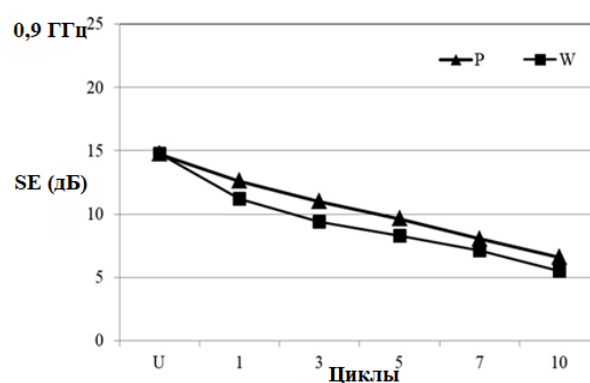


Рис. 6

Первый цикл обработки полотна ПА/Ag растворителями для сухой (P) и влажной (W) чистки в синергии с технологическими параметрами снизил степень защиты на

частоте 1,8 ГГц. Влажная чистка имела более сильное влияние по сравнению с сухой чисткой; наибольшая разница свойств SE обнаружена после 7-го цикла (рис. 7) [15].

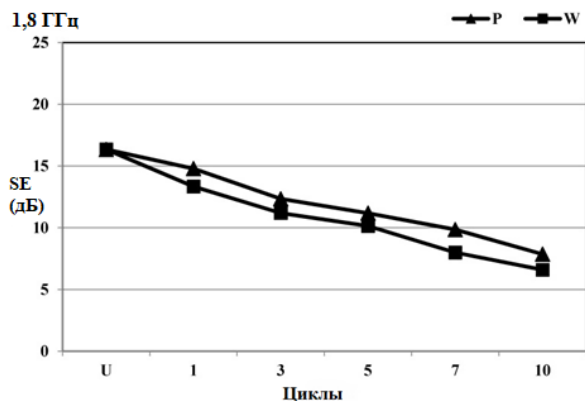


Рис. 7

Первый цикл сухой и влажной чистки полотна ПА/Ag снизил степень защиты на частоте 2,1 ГГц. Влажная чистка оказала более сильное влияние по сравнению с сухой чисткой. Наибольшая разница свойств SE обнаружена после 1-го цикла, а почти линейное и параллельное снижение свойств SE продолжалось после 3-го, 5-го, 7-го и 10-го циклов (рис. 8).

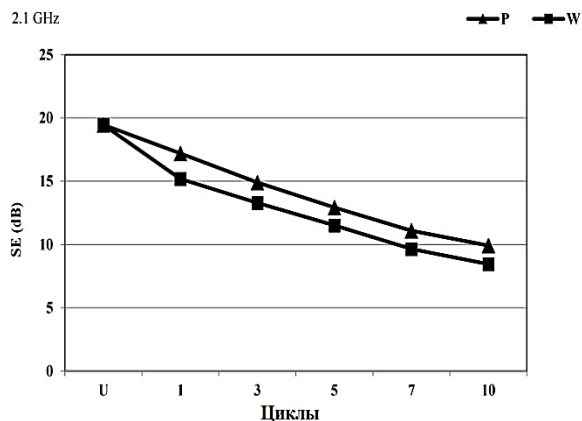


Рис. 8

Текстильные материалы, характеризующиеся эффективностью экранирования (SE) >20 дБ, пригодны для промышленного применения, что означает, что необработанное полотно ПА/Ag обладает соответствующей SE на частоте 2,4 ГГц [16]. Рис. 9 свидетельствует о лучшей сохранности SE при сухой чистке, чем при влаж-

ной. Численные различия в значениях SE полотна ПА/Ag после повторных циклов сухой чистки по сравнению с исходным показаны в табл. 3.

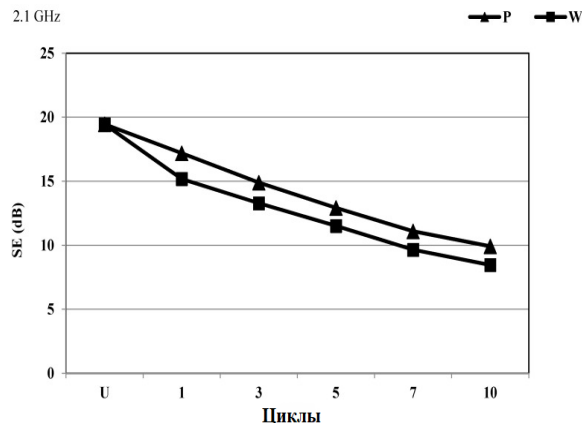


Рис. 9

Таблица 3

f (ГГц)	dSE (дБ) после P циклов сухой чистки				
	P1	P3	P5	P7	P10
0,9	2,2	3,8	5,2	6,7	8,2
1,8	1,5	4,0	5,2	6,5	8,5
2,1	2,3	4,6	6,5	8,4	9,5
2,4	2,2	4,3	6,5	8,0	11,9

Отличия SE обработанного полотна ПА/Ag, обусловленные физико-химическим влиянием влажной чистки, по сравнению с необработанными полотнами показаны в табл. 4 [17].

Таблица 4

f (ГГц)	dSE (дБ) после W циклов влажной чистки				
	W1	W3	W5	W7	W10
0,9	3,6	1,8	6,4	7,6	9,3
1,8	4,3	6,2	7,9	9,8	10,9
2,1	4,3	6,2	7,9	9,8	10,9
2,4	4,5	9,5	11,9	13,8	14,3

На основании полученных различий эффективности (dSE) на всех частотах можно отчетливо заметить более прогрессивное влияние влажной чистки на снижение значения SE по сравнению с сухой чисткой. Наибольшие различия в эффективности обнаружены на частоте 2,4 ГГц. Влияние параметров процесса влажной и сухой чистки на dSE хорошо коррелирует с данными наблюдения за поверхностью на изображениях СЭМ.



Первоначальное повреждение поверхности полотен ПА/Ag наблюдается после 5-й сухой чистки. Полученные значения dSE полотна ПА/Ag после пяти циклов сухой чистки на всех частотах практически одинаковы. Различия в dSE между нижними и верхними частотами заметны после 7-го и 10-го циклов сухой чистки [18].

Последующие циклы влажной чистки приводят к большим различиям dSE на всех частотах по сравнению с 1-м циклом. Начальное повреждение поверхности слоя Ag на полотне ПА, наблюдаемое после 3-го цикла влажной очистки, привело к существенному снижению значения dSE, особенно на частоте 2,4 ГГц.

Подтверждено, что на снижение значений SE влияет повреждение поверхностного слоя полотна в процессе влажной чистки [19].

## ВЫВОДЫ

Полиамидное полотно из посеребренной нити обладает оптимальной эффективностью электромагнитного экранирования в диапазоне частот от 0,8 ГГц до 2,4 ГГц. Защитный фактор, минимальный вес и толщина являются перспективными характеристиками для швейного, интерьерного и технического применения. Исходные свойства эффективного экранирования (SE) менялись при повторных циклах сухой и влажной чистки. Увеличение количества циклов влажной и сухой чистки привело к линейному падению значений SE на частотах 0,9 ГГц, 1,8 ГГц, 2,1 ГГц и 2,4 ГГц [25]. Изображения СЭМ показали повреждение серебряного покрытия на полиамидной нити. Деградация была более заметна после влажной чистки, чем после сухой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zoriy P., Dederichs H., Pillath J., Heuel-Fabianek B., Hill P., Lennartz R. Long-Term Measurements of the Radiation Exposure of the Inhabitants of Radioactively Contaminated Regions of Belarus – The Korma Report II (1998-2019). Verlag Forschungszentrum Jülich, 2016. – ISBN 978-3-95806-181-1.
2. Родионов В.Г. Проблемы традиционной энергетики // Энергетика: проблемы настоящего и

возможности будущего. М.: ЭНАС, 2017. С. 22. – ISBN 978-5-4248-0002-3.

3. Арутюнян Р.В., Большой Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». М.: ИБРАЭ РАН, 2018. 408 с. – ISBN 978-5-9907220-5-7.

4. Bates R.L. Geology of non-metallic minerals. 2021. 548 p. – ISBN 978-5-458-48180-9.

5. Karipidis K., Mate R., Urban D. et al. 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz // Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 2021. 16 March. – doi:10.1038/s41370-021-00297-6. – PMID 33727687.

6. Bakshi K.A., Bakshi A.V., Bakshi U.A. Electronic Measurement Systems. – US: Technical Publications, 2008. P. 4...14. – ISBN 978-81-8431-206-5.

7. Olifer V.G., Olifer N.A. Chapter 13 Switched Ethernet networks // Computer networks. Principles, technologies, protocols. 4th ed. St. Petersburg: Piter, 2020. S. 438. – ISBN 978-5-49807-389-7.

8. McLaren P.G. Elementary Electric Power and Machines, Ellis Horwood. 1984. P. 182...183. – ISBN 0-85312-269-5.

9. Wood A., Mate R., Karipidis K. Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. 2021. 16 March. P. 1...8. – doi:10.1038/s41370-021-00307-7. – PMID 33727686. – PMC 7962924.

10. Cachada, A., Rocha-Santos T., Duarte A.C. Chapter 1: Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues". Soil Pollution: From Monitoring to Remediation. Academic Press. 2018. P. 1...28.

11. Астафьев В.Н., Гогенко С.А. Уровни электромагнитного излучения мобильных телефонов и других портативных передающих устройств // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2014. №1 (35). С. 46...57.

12. Yang, D., Cai, J., Hull V., Wang, K., Tsang Y.P., Liu J. New road for telecoupling global prosperity and ecological sustainability. Ecosyst. Health Sustain. 2016, 2, 01242.

13. Седых В.А., Савич В.И., Балабко П.Н. Почвенно-экологический мониторинг. М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 584 с. – ISBN 978-5-9238-0164-4.

14. Scigliuzzo M. et al. Phononic loss in superconducting resonators on piezoelectric substrates. New J. Phys. 22, 053027 (2020). – <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab8044>.

15. Ciardi G., Vannucchi G., Madiati C. Effects of Colloidal Silica Grouting on Geotechnical Properties of Liquefiable Soils: A Review // Geotechnics. 2021. № 1. P. 460...491. – DOI: 10.3390/geotechnics1020022

16. Аврамов Ю.С. Защита человека от электромагнитных воздействий. М.: МГИУ, 2012. 231 с.

17. Акбашев Б.Б. Экранирующие системы зданий и помещений. М.: МИЭМ, 2017. 110 с.

18. Шандала М.Г., Зуев В.Г., Ушаков И.Б. Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения. Воронеж: Истоки, 2014. 82 с.

19. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2018. 120 с.

20. Шапошникова Е.С., Минкина Н.А. Снижение уровней электромагнитных полей на территории жилой застройки // Экологические проблемы урбанизированных территорий. 2014. №1. С. 49.

## REFERENCES

1. Zoriy P., Dederichs H., Pillath J., Heuel-Fabianek B., Hill P., Lennartz R. Long-Term Measurements of the Radiation Exposure of the Inhabitants of Radioactively Contaminated Regions of Belarus - The Korma Report II (1998—2019). Verlag Forschungszentrum Jülich, 2016. – ISBN 978-3-95806-181-1.

2. Rodionov V.G. Problems of traditional energy // Energy: problems of the present and opportunities for the future. M.: ENAS, 2017. P. 22. – ISBN 978-5-4248-0002-3.

3. Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Borovoy A.A., Velikhov E.P. System analysis of the causes and consequences of the accident at the Fukushima-1 nuclear power plant. M.: IBRAE RAS, 2018. 408 p. – ISBN 978-5-9907220-5-7.

4. Bates R.L. Geology of non-metallic minerals. 2021. 548 p. – ISBN 978-5-458-48180-9.

5. Karipidis K., Mate R., Urban D. et al. 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz // Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 2021. 16 March. – doi:10.1038/s41370-021-00297-6. - PMID 33727687.

6. Bakshi K.A., Bakshi A.V., Bakshi U.A. Electronic Measurement Systems. – US: Technical Publications, 2008. P. 4-14. – ISBN 978-81-8431-206-5.

7. Olifer V.G., Olifer N.A. Chapter 13. Switched Ethernet networks // Computer networks. Principles, technologies, protocols. 4th ed. -St. Petersburg: Piter, 2020. S. 438. – ISBN 978-5-49807-389-7.

8. McLaren, Peter G. Elementary Electrical Power and Machines, Ellis Horwood. 1984. P. 182...183. – ISBN 0-85312-269-5.

9. Wood A. Mate R., Karipidis K. Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimeter waves // Journal of Exposure Sci-

ence and Environmental Epidemiology. 2021. 16 March. P. 1–8. – doi:10.1038/s41370-021-00307-7. – PMID 33727686. – PMC 7962924.

10. Cachada, A., Rocha-Santos T., Duarte A.C. Chapter 1: Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. Soil Pollution: From Monitoring to Remediation. Academic Press. 2018. P. 1...28. – ISBN 9780128498729.

11. Astafiev V.N., Gogenko S.A. Levels of electromagnetic radiation from mobile phones and other portable transmitting devices // Current problems of transport medicine, 2014, No. 1 (35). P. 46...57.

12. Yang, D., Cai, J., Hull V., Wang, K., Tsang Y.P., Liu J. New road for telecoupling global prosperity and ecological sustainability. Ecosyst. Health Sustain. 2016, 2, e01242.

13. Sedykh V.A., Savich V.I., Balabko P.N. Soil-ecological monitoring / RGAU-MSHA im. K. A. Timiryazev. M.: RGAU-MSHA named after. K. A. Timiryazeva, 2013. 584 p. – ISBN 978-5-9238-0164-4.

14. Scigliuzzo M. et al. Phononic loss in superconducting resonators on piezoelectric substrates. New J. Phys. 22, 053027 (2020). – <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab8044>.

15. Ciardi G., Vannucchi G., Madiati C. Effects of Colloidal Silica Grouting on Geotechnical Properties of Liquefiable Soils: A Review // Geotechnics. 2021. No. 1. P. 460..4 91. – DOI: 10.3390/geotechnics1020022

16. Avramov Yu.S. Human protection from electromagnetic influences. M.: MGIU, 2012. 231 p.

17. Akbashev B.B. Shielding systems for buildings and premises. M.: MIEM, 2017. 110 p.

18. Shandala M.G., Zuev V.G., Ushakov I.B. Handbook on electromagnetic safety of workers and the population. Voronezh: Origins, 2014. 82 p.

19. Shapiro D.N. Electromagnetic shielding. Dolgoprudny: Publishing House "Intelligence", 2018. 120 p.

20. Shaposhnikova E.S., Minkina N.A. Reducing the levels of electromagnetic fields in residential areas // Environmental problems of urbanized territories. 2014. No. 1. P. 49.

Рекомендована кафедрой промышленного и гражданского строительства Юго-Западного государственного университета. Поступила 22.09.23.

## ПРАКТИКА ПОЛУЧЕНИЯ ГЛАДКОКРАШЕННЫХ ХЛОПКОЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ С ПРИРОДНО-ОКРАШЕННЫМ КОТОНИНОМ

### THE PRACTICE OF OBTAINING DYED COTTON-LINEN FABRICS WITH NATURALLY COLORED COTONINE

А.В. ЧЕШКОВА, Н.А. ТОПОРИЩЕВА, Т.С. КОТКОВА, О.А. ФРОЛОВА, А.А. КАБЕШОВ  
A.V. CHESHKOVA, N.A. TOPORISHCHEVA, T.S. KOTKOVA, O.A. FROLOVA, A.A. KABESHOV

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemical Technology)

E-mail: ctfm@isuct.ru, a\_cheshkova@mail.ru

*Проведена оценка возможности совмещения биоотварки и крашения котонинсодержащих хлопкольняных тканей в технологическом режиме получения гладкокрашеных материалов. По цветовым характеристикам готовых окрашенных тканей установлена оптимальная продолжительность ферментативного воздействия перед крашением активными красителями. Проведено спектральное исследование, направленное на выявление компонента хлопкольняных тканей, обладающего максимальной сорбционной и реакционной способностью по отношению к активному красителю. Получены дифференциальные спектры функции Кубелки-Мунка ( $\Delta K/S$ ), подтверждающие, что крахмал, входящий в состав илихты, имеет максимальные значения функции Кубелки-Мунка ( $\Delta K/S$ ) при 550 нм. Ярко выраженный максимум со смещением в длинноволновую часть спектра (600 нм) имеет зависимость, полученная для микрокристаллической целлюлозы. Представлены результаты производственных испытаний совмещенной технологии биоотварки и крашения с использованием эжекторной красильной машины, проведенных в условиях хлопчатобумажного отделочного производства (г. Иваново). Установлено, что замена традиционного режима подготовки на биоотварку в технологиях крашения активными красителями позволит снизить расход на 1000 м ткани: пара на 37%, электроэнергии на 39%, холодной воды на 42%, горячей воды более чем в 3 раза. Предполагаемый экономический эффект от внедрения составит 47%.*

*The assessment of the possibility of combining bioscouring and dyeing of cottonine-containing cotton-linen fabrics in the technological mode of obtaining smooth-colored materials was carried out. The duration of the enzymatic action before dyeing with active dyes is optimized according to the color characteristics of the finished dyed fabrics. A spectral study out aimed at identifying the tissue component with the maximum sorption and reactivity with respect to the active dye was carried. Differential spectra of the Kubelka-Munch function ( $\Delta K/S$ ) were obtained, confirming that the starch included in the dressing has the maximum values of the Kubelka-Munch function ( $\Delta K/S$ ) at 550 nm. A pronounced maximum (600 nm) has a dependence obtained for microcrystalline cellulose. The results of production tests of the combined technology of bioscouring and dyeing using an ejector dyeing machine, carried out in the conditions of cotton finishing production (Ivanovo), are presented. It was found that replacing the traditional preparation mode with bioscouring will reduce the consumption per 1000 m of fabric:*

*steam by 37%, electricity by 39%, cold water by 42%, hot water by more than 3 times. The estimated economic effect of the implementation will be 47%.*

**Ключевые слова:** лен, хлопкольняная ткань, биоотварка, ферменты, крашение на эжекторной машине, цветовые характеристики, спектральные исследования.

**Keywords:** cotton and linen fabric, cotton fabric, bioscouring, enzymes, dyeing an ejector machine, color characteristics, spectral studies.

В связи с обострением проблем, связанных с недостатком отечественного длинноволокнистого льна, многостадийностью, трудоемкостью и длительностью технологий облагораживания волокна и тканей на его основе, переход на производство льняного котонина и котонинсодержащих тканей особо актуален. Расширяют объемы выпуска льняного котонина предприятия Смоленской, Ивановской, Пензенской областей, ориентированные на первичную переработку сырья. Котонин вырабатывается как из отходов от получения длинноволокнистого льна, так и на основе однотипного льняного волокна. Выросло число предприятий, выпускающих смесовые хлопкольняные пряжи, а также ткани бытового назначения с вложением котонина. Это сорочечные ткани, материалы для форменной и спортивной одежды и ткани костюмной группы, а также ткани бельевого назначения. Котонин придает суровым тканям особую природную окраску благодаря полифенолам лигнина, входящего в структуру лигноуглеводного комплекса луба. С одной стороны, природно-окрашенный котонин создает особое качество волокнистого сырья, с другой – ограничивает возможность применения стандартных технологий отделки тканей.

Авторами работ [1, 2] доказано, что содержание котонина в смесовых хлопкольняных пряжах на уровне 10-25 % не влияет в существенной степени на процессы беления, проводимые по традиционным двухстадийным технологиям. Однако вложение котонина более 25-30 % приводит к получению природно-окрашенных тканей, которые отбеливать трудно и нецелесообразно в связи с существенной потерей мас-

сы – более 30 %. Серьезной проблемой для производства котонинсодержащих тканей является невозможность использования одностадийных технологий беления, пригодных для хлопчатобумажных тканей, а также щелочной отварки [3]. Это связано с тем, что котонин в процессе подготовки будет расщепляться до моноволокон, что приведет к существенной потере прочности ткани и устойчивости ее к стиранию. Поэтому для отделки таких тканей требуется особая организация процессов подготовки и крашения.

Целью работы явилась рационализация технологии получения гладкокрашенных котонинсодержащих хлопкольняных тканей с сохранением природной окраски за счет исключения стадии щелочно-пероксидного беления и включения биоотварки в технологию крашения. Поставлена задача обеспечения материалам в условиях обработки на эжекторном оборудовании интенсивного цвета за счет крашения активными красителями при условии сохранения природного цвета льняной составляющей.

Биоотварка с применением ферментов может стать альтернативной подготовкой, обеспечивающей расшлихтовку, частичную делигнификацию и удаление гидрофобных примесей из котонина льна и хлопкового волокна [4, 5]. Научно-исследовательскими работами показано, что использование биоотварки для хлопчатобумажных тканей позволяет либо заменить, либо дополнить стадию щелочной отварки [6-10]. Известны также работы, посвященные ферментативной модификации джута [11], льняного волокна и льняных тканей [12-15]. В качестве ферментов авторами рекомен-

дуются полигалактоураназы, пектатлиазы, ксиланазы целлюлазы и мультиэнзимные комплексы.

#### Материалы и методы

В настоящей работе для испытаний использованы котонинсодержащие хлопкольняные суровые ткани костюмного назначения промышленного производства на основе пряжи (ООО «Корд», г. Ярославль) с различным вложением котонина льна. Все ткани имеют характерную природную желто-серую окраску, придаваемую лигнином. Биоотварку проводили с использованием ферментных препаратов ООО «Биопрепарат» (Россия), обладающих амилалитической 2500 ед/г, полигалактоураназной активностью 36 ед/г, при их соотношении 1:10, общей концентрации в растворе 3 г/л и температуре 50 °С. Крашение осуществляли по технологии, принятой на отделочном предприятии, с применением высокорекреактивных активных красителей Бецактив при температуре крашения 60 °С в течение 60 минут [5]. Оценка технических свойств ферментативно обработанных и окрашенных тканей проводилась с применением методов ГОСТ [17], для характеристики цвета применялись спектральные методы анализа [18].

#### Результаты и обсуждение

Предварительный лабораторный эксперимент проводили на маломемной эжектор-

ной машине Yildiz (Турция) в условиях производства. Зависимость основных характеристик материалов от условий отварки показана в табл. 1 и 2. Установлено, что в процессе ферментативной обработки в течение 60 минут белизна (светлота) тканей увеличивается на 8-9 ед, капиллярность – на 40-70 мм при допустимом снижении прочности ткани. Увеличение капиллярности тканей зависит как от длительности процесса, так и от содержания котонина в тканях (табл. 1). Причем чем выше его содержание, тем более значительней эффект. Длительность процесса более 120 минут негативно сказывается на прочности тканей, потеря в массе превышает 8%, вязкость медно-аммиачных растворов целлюлозы снижается до значений 1-1,22 (табл. 2). Это связано с нарушением комплексности структуры льноволокна, повреждением целлюлозы в условиях высокотурбулентного воздействия в эжекторной машине.

Таблица 1

Содержание котонина, %	Капиллярность, %, при длительности биоотварки, мин			
	15	30	45	60
0 (хлопчатобумажная бязь)	0	5	12	30
20	15	20	25	55
40	20	25	40	60
50	22	35	57	65
85	30	45	85	105

Таблица 2

Время, мин	Белизна, %	Разрывная нагрузка, Н	Истирание, циклы	Удельная вязкость, ед*	Потеря веса, %	Смачиваемость, с
-	32,1	830	10042	2,15	-	нет
30	43,9	680	9754	1,95	2,9	6
60	44,2	609	8789	1,92	3,4	4
90	45,1	599	8130	1,85	5,0	3
120	46,1	585	8037	1,22	6,5	≤1
180	47,7	535	8006	Менее 1	8,8	≤1

\* Удельная вязкость медно-аммиачных растворов целлюлозы ( $\eta_{уд}$ ).

Проведено спектральное исследование, направленное на выявление компонента смесовых хлопкольняных тканей, обладающего максимальной сорбционной и реакционной способностью по отношению к активному красителю (рис. 1). Окрашивание активным красителем модельных суб-

стратов компонентов волокон проводили по режиму, аналогичному для крашения тканей (периодический способ с промывкой). В качестве окрашиваемых субстратов выбран крахмал, являющийся компонентом шлихты тканей, агар-агар (природный полисахарид, агаропектин), гуаровая камедь

(природный полисахарид гуаран) и микрокристаллическая целлюлоза. Для фильтрации окрашенного субстрата применяли воронку со стеклянной пластинкой с размером пор 16 мкм и обезжиренный фильтр.

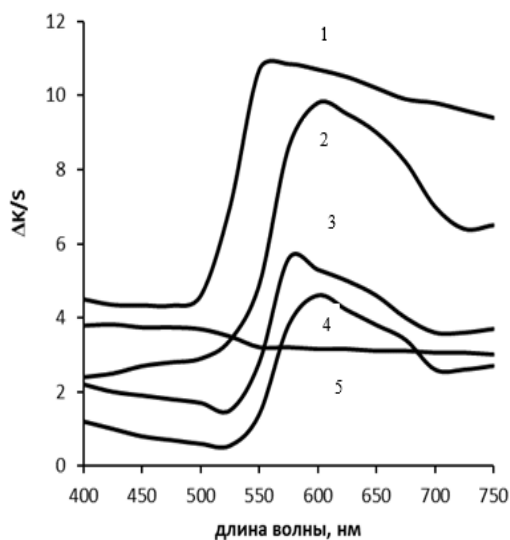


Рис. 1

Контроль интенсивности окраски проводили по функции Кубелки-Мунка ( $K/S$ ). Из представленных дифференциальных спектров ( $K/S - K/S_0$ , где  $K/S_0$  – спектральные значения для неокрашенного субстрата) наглядно видно, что окрашенный крахмал имеет максимальные значения функции Кубелки-Мунка ( $\Delta K/S$ ) при  $\lambda = 550$  нм. Ярко выраженный максимум со смещением в длинноволновую часть спектра (600 нм) имеет зависимость, полученная для окрашенной микрокристаллической целлюлозы. Для модельных соединений пектинов и гемицеллюлоз характеристический максимум проявляется с меньшей интенсивностью, что, однако, характеризует способность взаимодействия этих полисахаридов с активным красителем. Эти результаты доказывают необходимость полного удаления крахмальной шликты с текстильного материала и инертность лигнина по отношению к активному красителю. Следовательно, в структуре текстильного материала лигнин, химически связанный через пектины и гемицеллюлозы с целлюлозой котонина льна, будет давать суммарный эффект к

цвету окрашенных активными красителями полисахаридов.

Нами проведены производственные испытания совмещенной технологии биоотварки и крашения активными красителями в условиях ОСП «Самойловский текстиль» ООО «Нордтекс» (г. Иваново). Производственные испытания проводили на эжекторной красильной машине MCS (Bergamo, Италия). Согласно разработанному технологическому режиму биоотварка суровых хлопчатобумажных, льняных и котонинсодержащих тканей проводилась при начальной температуре процесса 20 °С с постепенным ее повышением до 50 °С в течение 30 минут и далее в течение 30 минут при статичной температуре в режиме работы эжектора с высокой турбулентностью раствора. После биоотварки и слива раствора проводили промывку с использованием неионогенных ПАВ (0,5 г/л) при максимальной температуре 90 °С в течение 15 минут. Далее следовало крашение активными красителями по действующей технологии предприятия методом выбора. После выгрузки окрашенной ткани, расправления жгута, ширения и сушки осуществляли отбор образцов и измерение цветовых характеристик по стандартным методикам [18]. В качестве сравнения использовали гладкокрашеные хлопчатобумажные ткани без котонина, подготовленные по действующей технологии щелочнопероксидного беления на линии ЛОБ-220 (табл. 3). При крашении применяли триаду красителей для создания цвета «графит»: Бедактив желтый S – 0,95 кг, Бедактив красный S – 0,71 кг, Бедактив синий S – 1,34 кг (в сумме 1,5 % от массы ткани).

Из представленных в таблице данных видно, что максимальные плюсовые значения цветового различия в сравнении с отбеленной хлопчатобумажной тканью (стандарт) получены для котонинсодержащих тканей. Оттенок цвета ткани существенно краснее (показатель +a) относительно стандарта при содержании котонина на уровне 25-60%. Ткани с высоким содержанием котонина (85%) отличаются более желтым оттенком.

Таблица 3

Образец	L	a +краснее/ -зеленее	b +желтое/ -синее	ΔE*
Льняная отбеленная костюмная ткань	30,78	1,98	-3,20	2,09
Биоотварка				
Бязь, хлопок	33,42	1,79	-4,24	5,49
Бязь, 25% котонина	30,05	2,55	-3,09	5,93
Полотенечная, 40 % котонина	25,21	2,77	-2,39	5,34
Декоративная, 50 % котонина	24,44	2,40	-2,13	6,37
Костюмная, 60 % котонина	25,51	2,71	-2,02	5,04
Костюмная, 85 % котонина	27,72	2,08	-1,57	2,80

\*Стандарт, образец сравнения – окрашенная, предварительно отбеленная по одностадийной технологии щелочно-пероксидного беления хлопчатобумажная ткань.

Таблица 4

Содержание котонина, %	Ширина, см	DE	DL	Da	Db
85	145	6,0	-6,78	-11,27	-5,67
60	155	5,2	-6,37	-9,30	-5,21
50	260	5,8	-5,8	-9,60	-4,7
40	160	3,7	-4,9	-7,05	-3,8

Примечание: DE – чистота цвета; DL – светлота; Da, Db – координаты, характеризующие цветность образца.

В табл. 4 суммированы результаты производственных испытаний крашения в цвет «терракот» с использованием триады красителей: Бецактив желтый S – 0,90 кг, Бецактив красный S – 1,95кг, Бецактив синий S – 0,15 кг (в сумме 1,5% от массы ткани). В данном случае для сравнения выбрана чистольняная ткань, выработанная на основе ровницы из длинноволокнистого льна окислительной варки и прошедшая полный цикл многостадийного беления на линии. Максимальная разница в показателях ΔE, Da, Db по сравнению с окрашенной чистольняной тканью (с подготовкой по действующему режиму отделочного производства) отмечена для костюмной льняной ткани (85 % котонина). При этом оттенок котонинсодержащей гладкокрашеной ткани значительно темнее образца сравнения.

Все гладкокрашенные ткани имеют показатели устойчивости окраски к физико-механическим воздействиям в соответствии с требованиями ГОСТ 9733.27-83 (СТ СЭВ 5444-85) [17]: к сухому трению – 5/5, к мокрому трению – 4/4, к стирке (мылу, 60°C) – 4/4, к поту – 4/5. Полученные практические результаты подтверждают возможность качественного крашения котонинсодержащих тканей при полном ис-

ключении стадии щелочно-пероксидного беления. Установлено, что замена режима традиционной подготовки на биоотварку позволит снизить расход на 1000 м ткани: пара на 37 %, электроэнергии на 39 %, холодной воды на 42 %, горячей воды более чем в 3 раза. Расчетный экономический эффект (Э) от исключения стадии щелочно-пероксидного беления при производстве гладкокрашенных котонинсодержащих хлопкольняных тканей и включения биоотварки в технологический режим крашения составит:

$Z_1$  (затраты на режим биоотварки) – 17561 руб. на 1000 погонных метров тканей;

$Z_2$  (затраты на режим беления) – 33065 руб. на 1000 погонных метров тканей;

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= 33065 - 17561 = \\ &= 15504 \text{ руб./1000 пог. м тканей.} \end{aligned}$$

Экономия составляет 47% без учета затрат на транспортировку тканей от линии беления к эжектору для крашения.

Новые технологические режимы рекомендованы к внедрению на отделочных предприятиях России, оснащенных оборудованием для подготовки и крашения методом выбирания (ООО «Ивановский ме-



ланжевый комбинат», ОСП «Самойловский текстиль» и ОАО «Родники-текстиль» ООО «Нордтекс», ОП «Традиции текстиля» (г. Иваново), ОАО «Тейковский текстиль» (г. Тейково) и др.).

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что следствием целенаправленной модификации хлопковой и льняной целлюлозы тканей с высоким содержанием котонина (85%) в процессе ферментативной обработки в течение 60 минут является повышение белизны на 8-9 ед (37%), капиллярных свойств на 70 мм (до 105 мм/ч). Сравнение колористических показателей окрасок тканей, прошедших ферментативную обработку и крашение активными красителями, со стандартом (беление и крашение) выявило, что цветовое различие (ΔE) превосходит 2, а дополнительный цвет обеспечивается сохранением лигнина льна.

2. Представлены результаты производственных испытаний технологии биоотварки и крашения, проведенных в условиях текстильного отделочного производства. Установлена возможность качественного крашения активными красителями хлопкольняных тканей с различным содержанием котонина (25-85%) и получения экономии 47% за счет исключения стадии беления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чешкова А.В., Кузьмин А.В., Шибашова С.Ю. Безгипохлоритная технология беления льно-содержащих текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2002. № 4-5. С. 75...78.
2. Чешкова А.В., Кузьмин А.П., Пискарева И.Л. Эко-технологии беления льно-содержащих текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2004. № 1. С. 52...56.
3. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Актуальный дизайн и цветовые характеристики тканей на основе природноокрашенного котонина льна // Дизайн и искусство – стратегия проектной культуры XXI века: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. РГУ имени А.Н. Косыгина. М., 2019. Ч. 4. С. 29...32.
4. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашенных котонинсодержа-

щих тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5. (389). С. 62...68.

5. Алеева С.В. Комплексный подход к ферментативному разрушению полимерных примесей при облагораживании льняных тканей // Текстильная химия. 2005. №1. С. 28...34.

6. Bristi U. Sustainable process by bio-scouring for cotton knitted fabric suitable for next generation // Journal Textile Eng Fashion Technol. 2019. Vol. 5. Iss 1. P. 41...48.

7. Rajendran R. Bioscouring of cotton fabrics using pectinase enzyme its optimization and comparison with conventional scouring process // Pak J Biol Sci. 2011. Vol. 14. (9). P. 519...525.

8. Yachmenev V.G. Effect of Sonication on cotton Preparation with Alkaline Pectinase // Textile Res. J. 2001. Vol. 71(6). P. 527...533.

9. Špička N. New combined bio-scouring and bio-bleaching process of cotton fabrics // Materials and Technologies. 2013. Vol. 47(4). P. 409...412.

10. Mojsov K. Enzyme Scouring of Cotton Fabrics // Engineering International Journals of Marketing and Technology. 2012. Vol. 2. Iss 9. P. 256...275.

11. El-Zawahry M.M. Enzymatic Treatment and Its Influence on Finishing and Dyeing Properties of Jute Fabrics // Research Journal of Textile and Apparel. 2009. Vol. 13. Iss 4. P. 34...44.

12. Lipp-Symonowicz B. Influence of enzymatic treatment on the flax fibre // Fibres and Text. East. Eur. 2004. 12. № 1. P. 61...65.

13. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокушаров 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.

14. Bhattacharya S.D. Enzymatic Treatments of Flax Fabric // Textile Research Journal. 2004. № 74. С. 622...628.

15. Abdel-Halim E.S. Bioscouring of linen fabric in comparison with conventional chemical treatment- Carbohydrate Polymers. 2008. Vol. 74(3). P. 707...711.

16. Ясинская Н.Н. Применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2018. №2 (35). С. 104...111.

17. Фридлянд Г.И. Отделка льняных тканей. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 430 с.

18. Журавлева Н.В., Коновалова М.В., Куликова М.А. Колорирование текстильных материалов. М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. 368 с.

## REFERENCES

1. Cheshkova A.V., Kuzmin A.V., Shibashova S.Yu. Hypochlorite-free bleaching of flax-containing textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2002. No. 4-5. P. 75...78.

2. *Cheshkova A.V., Kuzmin A.P., Piskareva I.L.* Ecotechnologies of bleaching of linen materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2004. No. 1. P. 55...58.
3. *Toporishcheva N.A., Mukhina E.N., Cheshkova A.V.* Actual design and color characteristics of fabrics based on naturally colored cotton flax // *Design and art – the strategy of project culture of the XXI century: sat. mat. Vseros. nauch.-practical conf. of the Kosygin Russian State University. M., 2019. Part 4. P. 29...32.*
4. *Toporishcheva N.A., Mukhina E.N., Cheshkova A.V.* Improvement of biochemical technologies of pre-treatment for obtaining of impotanted of colored flex-containing cloth // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. № 5. (389). P. 62...68.
5. *Aleeva S. V.* An integrated approach to the enzymatic destruction of polymer impurities in the ennobling of linen fabrics // *Textile chemistry*. 2005. No. 1. P. 28...34.
6. *Bristi U.* Sustainable process by bio- scouring for cotton knitted fabric suitable for next generation // *Journal Textile Eng Fashion Technol*. 2019. Vol. 5. Iss 1. P. 41...48.
7. *Rajendran R.* Bioscouring of cotton fabrics using pectinase enzyme its optimization and comparison with conventional scouring process // *Pak J Biol Sci*. 2011. Vol. 14. (9). P. 519...525.
8. *Yachmenev V.G.* Effect of Sonication on cotton Preparation with Alkaline Pectinase // *Textile Res. J*. 2001. Vol. 71(6). P. 527...533.
9. *Špička N.* New combined bio-scouring and bio-bleaching process of cotton fabrics // *Materials and Technologies*. 2013. Vol. 47(4). P. 409...412.
10. *Mojsov K.* Enzyme Scouring of Cotton Fabrics // *Engineering International Journals of Marketing and Technology*. 2012. Vol. 2. Iss 9. P. 256...275.
11. *El-Zawahry M.M.* Enzymatic Treatment and Its Influence on Finishing and Dyeing Properties of Jute Fabrics // *Research Journal of Textile and Apparel*. 2009. Vol. 13. Iss 4. P. 34...44.
12. *Lipp-Symonowicz B.* Influence of enzymatic treatment on the flax // *Fibres and Text. East. Eur*. 2004. 12. № 1. P. 61...65.
13. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* etc. Enzymative softening treatment of linen products: the impact of cellulases in the swollen fiber structure // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 5. P. 126...134.
14. *Bhattacharya S.D.* Enzymatic Treatments of Flax Fabric // *Textile Research Journal*. 2004. № 74. C. 622...628.
15. *Abdel-Halim E.S.* Bioscouring of linen fabric in comparison with conventional chemical treatment // *Carbohydrate Polymers*. 2008. Vol. 74(3). P. 707...711.
16. *Yasinskaya N.N.* The use of enzyme preparations of pectinolytic action for the preparation of linen fabrics for coloring // *Bulletin of the Vitebsk State Technological University*. 2018. №2 (35). P. 104...111.
17. *Fridlyand G.I.* Finishing of linen fabrics. M.: Light and food industry, 1982. 430 s.
18. *Zhuravleva N.V., Konovalova M.V., Kulkova M.A.* Coloring of textile. Moscow: Kosygin Moscow State Technical University, 2007. 368 p.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 22.09.23.

**БИОСОВМЕСТИМОСТЬ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ  
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЕМИНОМ**

**BIOCOMPATIBILITY AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY  
OF FIBROUS MATERIALS BASED ON POLY-3-HYDROXYBUTYRATE  
MODIFIED WITH HEMIN**

*И.А. ВАРЬЯН<sup>1,2</sup>, П.М. ТЮБАЕВА<sup>1,2</sup>*

*I.A. VARYAN<sup>1,2</sup>, P.M. TYUBAEVA<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,  
<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук)

(<sup>1</sup>Plekhanov Russian University of Economics,  
<sup>2</sup>Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences)

E-mail: ivetta.varyan@yandex.ru

*Исследовано влияние гемина на структуру и свойства нанокompозитных электроформованных материалов на основе поли-3-гидроксибутирата. Показано, что добавка гемина заметно влияет на морфологию волокон, делая их более прочными. Отмечена также повышенная противомикробная активность. Также рассмотрено влияние гемина на биосовместимость нетканого материала на основе поли-3-гидроксибутирата и перспективы композитов поли-3-гидроксибутират-гемин в качестве материала для заживления ран.*

*The effect of hemin on the structure and properties of nanocomposite electroformed materials based on poly-3-hydroxybutyrate has been studied. It has been shown that the addition of hemin significantly affects the morphology of the fibers, making them stronger. An increased antimicrobial activity was also noted. The influence of hemin on the biocompatibility of a nonwoven material based on poly-3-hydroxybutyrate and the prospects of poly-3-hydroxybutyrate-hemin composites as a material for wound healing are also considered.*

**Ключевые слова:** поли-3-гидроксибутират, гемин, биосовместимость, антимикробная активность.

**Keywords:** poly-3-hydroxybutyrate, hemin, biocompatibility, antimicrobial activity.

Биомедицинские материалы имеют большое значение в различных областях медицины, включая создание имплантатов, тканевую инженерию, диагностику заболеваний и многое другое. При этом наиболее востребованным на данный момент направлением исследований в области биомедицинских материалов является раз-

работка инновационных полимерных материалов на основе возобновляемых ресурсов [1, 2]. Так, например, большое внимание уделяется полигидроксиалканоатам (ПГА) – классу устойчивых алифатических полиэфиров, продуцируемых различными микроорганизмами.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ МК-1651.2022.1.3.

Наиболее популярным биополимером среди всех ПГА является поли-3-гидроксибутират (ПГБ). Это биосовместимый, термопластичный полимер, который образуется, хранится и разлагается в результате жизнедеятельности микроорганизмов [3]. В увлажненном компосте ПГБ подвергается быстрой биодеградации [4, 5]. Благодаря высокой биосовместимости ПГБ имеет широкий спектр применения, включая биомедицину, тканевую инженерию, средства доставки лекарств, материалы для заживления ран [6-8] и другие приложения.

Однако несмотря на все вышеперечисленные преимущества низкие механические свойства по-прежнему ограничивают широкое коммерческое использование ПГБ [9]. Для решения этой проблемы предприняты попытки модификации ПГБ путем введения в него различных добавок природного происхождения [10-13]. При этом одной из активно используемых добавок являются порфирины [14-16]. Добавки на основе порфиринов биосовместимы, химически и термически стабильны. Кроме того, такие добавки обладают высокой антимикробной и противовирусной активностью [17].

В настоящей работе изучено влияние модифицирующей добавки на основе природных порфиринов, такой, как гемин, на биосовместимость и антимикробную активность материалов на основе ПГБ, полученных методом электроформования. Ранее гемин уже применялся в различных биомедицинских материалах в качестве фрагмента, способствующего связыванию белка с полимером, контейнера для биоактивных молекул и биокатализатора [18]. Также в наших предыдущих работах описан характер влияния гемина на надмолекулярную структуру образования ПГБ.

#### *Материалы и методы*

В качестве исследуемого образца использовали ПГБ в виде мелкодисперсного порошка (серия 16F, BIOMER, Германия). Структурная формула ПГБ показана на рис. 1, а. Содержание кристаллической фазы в исследуемом ПГБ составляло 59 %, молекулярная масса 206 кДа, плотность

1,248 г/см<sup>3</sup>. В качестве модифицирующей добавки использовали гемин (рис. 1, б), полученный методом экстракции из бычьей крови (Aldrich-Sigma, США). Для получения волокнистых материалов на основе композита ПГБ-гемин методом электроформования использовалась однокапиллярная установка ЭФВ-1 (Москва, Россия). Для приготовления формовочных растворов порошок ПГБ растворяли в хлороформе при температуре 60 °С, а порошок гемина – в N,N-диметилформамиде при температуре 25 °С. Оба раствора гомогенизировали и использовали через 12 часов после изготовления.

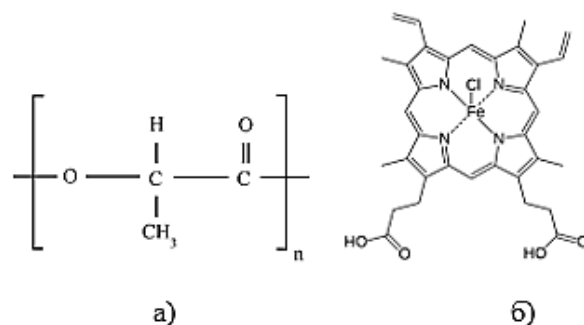


Рис. 1

Полученные волокнистые материалы исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Tescan VEGA3 (Брно, Чехия). Анализ механических свойств проводили на разрывной машине Devotrans DVT GP UG 5 (Стамбул, Турция) на образцах размером 10-40 мм при скорости растяжения 25 мм/мин без предварительного натяга. Степень кристалличности и средние размеры кристаллитов определяли методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре HZG4 (Freiburger Präzisionsmechanik, Германия). Термические свойства исследовались с помощью дифференциального сканирующего калориметра Netzsch 214 Polyma (Германия) в атмосфере аргона со скоростью нагрева 10 °К/мин и скоростью охлаждения 10 °К/мин при массе образцов 6-7 мг. Антимикробную активность определяли медико-биологическими тестами. Для культур микроорганизмов использовали мясопептонный агар, время инкубации 24 ч при 37°С. Концентрация микробных клеток в

физиологическом растворе составляла 104 мк/мл. Посевы инкубировали в течение 48 ч при 37 °С после приготовления образцов. Иммутированную клеточную линию фибробластов человека VJ-5ta поддерживали в полистироловых колбах объемом 25 см<sup>2</sup> в среде DMEM с добавлением 10 % FBS и гентамицина (50 мкг/мл) при 37 °С во влажной атмосфере, содержащей 5 % CO<sub>2</sub>. Клетки пересеивали с использованием раствора трипсин-ЭДТА два раза в неделю. Для оценки цитотоксической активности и биосовместимости клетки высеивали в 24-луночные планшеты (по 20 000 клеток на лунку) непосредственно перед экспериментом на пленочных образцах и инкубировали в стандартных условиях в течение 72 ч. Для оценки выживаемости клеток применяли стандартный МТТ-тест.

#### Результаты и обсуждение

СЭМ-изображения электроформованных материалов на основе композитов ПГБ-гемин показаны на рис. 2. Как видно, добавление гемина способствовало изменению поверхности волокон ПГБ. Все волокна ПГБ-гемин имели однородную структуру. С увеличением концентрации гемина количество дефектов на поверхности волокон заметно уменьшалось. Так, утолщения и склеивания волокон полностью исчезали при содержании гемина 5 %. При этом поверхностная плотность снижалась на 30-40 %, а средний диаметр волокон уменьшался на 40-50 %. Формирование более однородных по составу волокон способствовало повышению их прочности. Для образцов с содержанием гемина на уровне 5 % показатель прочности при растяжении увеличивался в 3,2 раза, в то время как относительное удлинение при разрыве увеличивалось в 1,7 раза. Отметим, что увеличение содержания гемина до значений более 5 % приводило к некоторому ухудшению механических свойств композитов ПГБ-гемин.

По данным рентгеноструктурного анализа введение гемина существенно влияло на степень кристалличности и размер волокон ПГБ. Как видно на рис. 3, введение гемина привело к уменьшению доли кристаллической фазы на 6-15 %. При этом

размер кристаллитов увеличился на 15-26 %. Эти результаты согласуются с изменениями термических свойств композитов ПГБ-гемин. Так, по данным дифференциальной сканирующей калориметрии гемин мало влияет на температуру плавления кристаллической фазы: при первой плавке она уменьшилась лишь на 12-19 %, а при второй – на 13-20 %. Такая незначительная разница свидетельствует о том, что полимер успевает кристаллизоваться и волокнистая структура мало влияет на фазовое распределение в формовочном растворе [20].

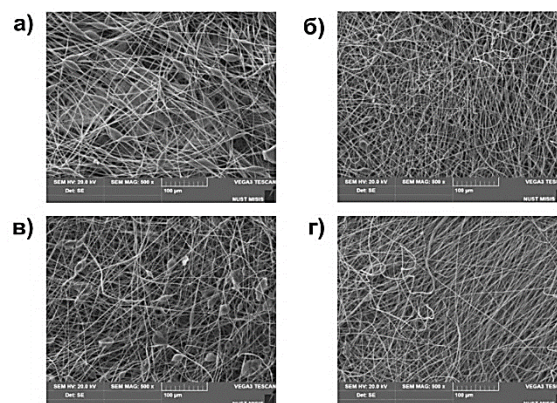


Рис. 2

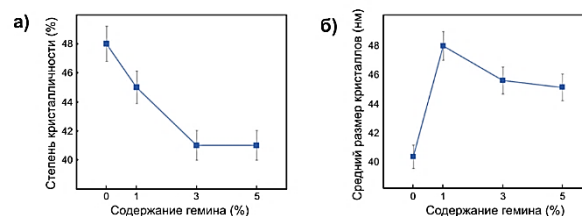


Рис. 3

Для оценки биосовместимости полимерных материалов исследованы антимикробная активность и токсичность композитов ПГБ-гемин. Как известно, чистый ПГБ не обладает антибактериальной активностью. Однако, как видно из табл. 1, введение гемина приводило к возникновению у композита антимикробной активности. Так, для образцов с содержанием гемина 1 % наблюдалось снижение КОЕ для *S. aureus* на 47 %, а для *E. coli* на 90 %. Для *S. typhimurium* присутствие гемина было менее эффективным, снижая КОЕ лишь на 15 %. Еще большей антибактериальной

активностью обладали образцы с содержанием гемина 3 и 5 %. Так, например, снижение КОЕ для *S. aureus* и *S. typhimurium* составляло 79-89 % и 74-75 % соответственно. Для *E. coli* этот показатель достигал 98 %.

Т а б л и ц а 1

Тестовая культура	Исходная культура, КОЕ/мл	Проба, КОЕ/мл	Контроль, КОЕ/мл
<i>S. aureus</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$4.5 \cdot 10^3$	$8.6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$8.5 \cdot 10^2$	$9.8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$7.2 \cdot 10^3$	$8.1 \cdot 10^3$
ПГБ-гемин (3 %)			
<i>S. aureus</i>	$2.1 \cdot 10^4$	$1.8 \cdot 10^3$	$8.6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$< 1 \cdot 10^2$	$9.8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$2.1 \cdot 10^3$	$8.1 \cdot 10^3$
ПГБ-гемин (5 %)			
<i>S. aureus</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$0.9 \cdot 10^3$	$8.6 \cdot 10^3$
<i>E. coli</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$< 1 \cdot 10^2$	$9.8 \cdot 10^3$
<i>S. typhimurium</i>	$2.0 \cdot 10^4$	$2.0 \cdot 10^3$	$8.1 \cdot 10^3$

Оценку цитотоксического действия композитов ПГБ-гемин проводили на основании результатов МТТ-теста. По результатам 24-, 48- и 72-часовой инкубации клеток ВJ-5ta с композитом ПГБ-гемин с различным содержанием гемина не было выявлено существенных различий в морфологии, форме клеток, адгезии или выживаемости. Таким образом, отсутствие разрывов, деформаций и других явлений подтверждает хорошую биосовместимость исследованных образцов и отсутствие токсического действия композита на жизнеспособность и морфологию клеток.

## ВЫВОДЫ

Изучено влияние введения добавки гемина на механические свойства, биосовместимость и антимикробную активность ПГБ. Показано, что присутствие гемина в количестве 1-5 % позволяет получать волокна с улучшенной морфологией. В частности, для композитов с содержанием гемина 5 % предел прочности при растяжении увеличился в 3,2 раза, а относительное удлинение при разрыве увеличилось в 1,7 раза. Также произошли изменения в кристаллической структуре полимера: увеличился размер кристаллитов ПГБ и уменьшилась

их общая доля. Исследования антибактериальной активности показали, что введение добавки гемина с массовой долей в 5% в матрицу ПГБ привело к снижению КОЕ для *S. aureus* и *S. typhimurium* на 79-89 % и 74-75 % соответственно. Для *E. coli* этот показатель достигал 98 %. Результаты исследования цитотоксической активности показали, что волокна на основе ПГБ обладают высокой безопасностью и могут быть перспективными носителями для применения в регенеративной медицине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arif U., Haider S., Haider A., Khan N., Alghyamah A.A., Jamila N., Khan M.I., Almasry W.A., Kang I.K. Biocompatible Polymers and their Potential Biomedical Applications: A Review. *Curr Pharm Des.* 2019, 25(34), 3608-3619. – DOI: 10.2174/1381612825999191011105148
2. Li M., Wilkins M.R. Recent advances in polyhydroxyalkanoate production: Feedstocks, strains and process developments. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 156, 691-703. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.082
3. Kushwah B.S., Kushwah A.V.S., Singh V. Towards understanding polyhydroxyalkanoates and their use. *J Polym Res* 2016, 23(8), 153. – DOI: 10.1007/s10965-016-0988-3
4. Zhao J., Weng G., Li J., Zhu J., Zhao J. Polyester-based nanoparticles for nucleic acid delivery. *Mater. Sci. Eng. C* 2018, 92, 983-994. – DOI: 10.1016/j.msec.2018.07.027
5. Singh G., Kumari A., Mittal A., Yadav A., Aggarwal N.K. Polyβ-Hydroxybutyrate Production by *Bacillus subtilis* NG220 Using Sugar Industry Waste Water. *BioMed Res. Int.* 2013, 1-10 – DOI: 10.1155/2013/952641
6. Kai D., Loh X.J. Polyhydroxyalkanoates: Chemical Modifications Toward Biomedical Applications. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014, 2, 106-119. – DOI: 10.1021/sc400340p
7. Bakhtiari S.S.E., Karbasi S., Toloue E.B. Modified Poly(3-hydroxybutyrate)-based scaffolds in tissue engineering applications: A Review. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021, 166, 986-988. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.255
8. Chen G., Wang Y. Medical applications of biopolyesters polyhydroxyalkanoates. *CHINESE J POLYM SCI* 2013, 31(5), 719-736. – DOI: 10.1007/s10118-013-1280-1
9. Yeo J.C.C., Muiruri J.K., Thitsartarn W., Li Z., He C. Recent advances in the development of biodegradable PHB-based toughening materials: Approaches, advantages and applications. *Mater. Sci. Eng. C* 2018, 92, 1092-1116. – DOI: 10.1016/j.msec.2017.11.006

10. Sreedevi S., Unni K.N., Sajith S., Priji P., Josh M.S., Benjamin S. Bioplastics: Advances in Polyhydroxybutyrate Research. *Adv Polym Sci.* 2014. – DOI: 10.1007/12\_2014\_297

11. Arrieta M.P., López J., Hernández A., Rayón E. Ternary PLA–PHB–Limonene blends intended for biodegradable food packaging applications. *Eur. Polym. J.* 2014, 50, 255-270. – DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2013.11.009

12. Kumara B.P., Maruthi Y.P. et. al. Development and characterization of polycaprolactone (PCL)/poly ((R)-3-hydroxybutyric acid) (PHB) blend microspheres for tamoxifen drug release studies. *Int. J. of Pharm. and Pharmac. Sci.* 2015, 7(9), 95-100

13. Karimi A., Karbasi S., Razavi S., Zargar E.N. Poly(hydroxybutyrate)/chitosan Aligned Electrospun Scaffold as a Novel Substrate for Nerve Tissue Engineering. *Adv Biomed Res.* 2018, 7(44). – DOI: 10.4103 /abr.abr\_277\_16

14. Wu J., Li S., Wei H. Integrated nanozymes: facile preparation and biomedical applications. *ChemComm*, 2018, 54(50), 6520-6530. – DOI: 10.1039/c8cc01202d

15. Imran M., Ramzan M., Qureshi A., Khan M., Tariq M. Emerging Applications of Porphyrins and Metalloporphyrins in Biomedicine and Diagnostic Magnetic Resonance Imaging. *Biosensors* 2018, 8(4), 95. – DOI: 10.3390/bios8040095

16. Waghorn P.A. Radiolabelled porphyrins in nuclear medicine. *J Labelled Comp Radiopharm* 2014, 57(4), 304-309. – DOI: 10.1002/jlcr.3166

17. Zhu Y., Chen J., Kaskel S. Porphyrin-Based Metal-Organic Frameworks for Biomedical Applications. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2020, 60(10). – DOI: 10.1002/anie.201909880

18. Lu Y., Berry S.M., Pfister T.D. Engineering novel metalloproteins: design of metal-binding sites into native protein scaffolds. *Chem. Rev.* 2001, 101(10), 3047-3080. – DOI: 10.1021/cr0000574

19. Tyubaeva P., Varyan I., Lobanov A., Olkhov A., Popov A. Effect of the Hemin Molecular Complexes on the Structure and Properties of the Composite Electrospun Materials Based on Poly(3-hydroxybutyrate). *Polymers*, 2021, 13(22), 4024. – DOI: 10.3390/polym 13224024

20. Yeo J.C.C., Muiruri J.K., Thitsartarn W., Li Z., He C. Recent advances in the development of biodegradable PHB-based toughening materials: Approaches, advantages and applications. *Mater. Sci. Eng. C* 2018, 92, 1092-1116. – DOI: 10.1016/j.msec.2017.11.006

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 16.10.23.

УДК 677.494.674:54.03

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_154

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛОМЕРОВ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ПРИДАНИЯ ВЫСОКИХ ВОДООТТАЛКИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭФИРНЫМ ТКАНЯМ\***

### **APPLICATION OF TETRAFLUOROETHYLENE TELOMERS TO GIVE HIGH WATER REPELLENT PROPERTIES TO POLYESTER FABRICS**

*Н.П. ПРОРОКОВА, Т.Ю. КУМЕЕВА*

*N.P. PROROKOVA, T.Yu. KUMEEVA*

(Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук)

(G.A. Krestov Institute of solution chemistry of the Russian academy of sciences)

E-mail: npp@isc-ras.ru

***Проанализированы критерии оценки степени гидрофобности ткани. Определены наиболее значимые показатели при получении полиэфирной ткани с водоотталкивающими свойствами. Рассмотрена возможность использования для этой цели ряда теломеров тетрафторэтилена. Мето-***

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и правительства Ивановской области в рамках научного проекта р\_центр\_а № 18-48-370005.



дами ИК спектроскопии, СЭМ, энергодисперсионного анализа показано, что теломеры тетрафторэтилена формируют упорядоченные ультратонкие фторполимерные покрытия на поверхности каждой элементарной нити, образующей ткань. Методом АСМ установлено, что покрытия, формируемые различными теломерами, обладают разной шероховатостью и коэффициентом жесткости. Сделан вывод об эффективности использования теломеров тетрафторэтилена в качестве гидрофобизаторов для полиэфирной ткани.

*Criteria for assessing the degree of fabric hydrophobicity were analyzed. The most significant indicators for obtaining polyester fabric with water-repellent properties have been determined. The possibility of using a number of tetrafluoroethylene telomers for this purpose has been considered. Using IR spectroscopy, SEM, and energy dispersive analysis, it was shown that tetrafluoroethylene telomers form an ordered ultrathin fluoropolymer coatings on the surface of each filament forming the fabric. Using the AFM method, it was found that coatings formed by different telomers have different roughness and stiffness coefficient. A conclusion is drawn about the effectiveness of using tetrafluoroethylene telomers as water repellents for polyester fabric.*

**Ключевые слова:** гидрофобность, водоотталкивающие свойства, теломеры тетрафторэтилена, фторполимерное покрытие, водопоглощение, коэффициент жесткости.

**Keywords:** hydrophobicity, water repellent properties, tetrafluoroethylene telomers, fluoropolymer coating, water absorption, stiffness coefficient.

На мировом потребительском рынке устойчивым спросом пользуется гидрофобный текстиль, к которому относятся материалы с водоотталкивающими и водупорными свойствами. Водоотталкивающая отделка предусматривает придание текстильным материалам способности не смачиваться водой, сохраняя при этом воздухо- и паропроницаемость. В результате водупорной отделки вода не проникает с лицевой стороны на изнанку текстильного материала, при этом воздухо- и паропроницаемость он утрачивает. Материалы с водупорными свойствами имеют довольно узкое техническое применение – для тентов, парусины, укрытия буртов, верха грузового автотранспорта и т. п. Значительно шире в технике и быту используются «дышащие» гидрофобные ткани, т. е. ткани с водоотталкивающей отделкой. Гидрофобными считаются ткани, у которых краевой угол смачивания ( $\Theta$ ) превышает  $90^\circ$ . Кроме того, в настоящее время четко обозначился интерес потребителей и

производителей к материалам и покрытиям с очень высокой гидрофобностью (ультрагидрофобные –  $\Theta > 120^\circ$  и супергидрофобные –  $\Theta > 150^\circ$ ) [1].

Процессы смачивания волокон и изделий из них подчиняются общим для всех материалов теоретическим закономерностям [2-4]. Согласно им гидрофобные материалы должны обладать как можно более низкой поверхностной энергией и многомодальной шероховатостью, благодаря которой смачивание поверхности будет протекать по гомогенному механизму. Понижение поверхностной энергии осуществляется с помощью изменения химического состава поверхности. Наиболее распространенным путем является нанесение на поверхность материала покрытия, образованного веществом с более низкой поверхностной энергией (гидрофобизатором). Многомодальная шероховатость обычно достигается за счет текстурирования поверхности покрытия.

Однако в отношении многомодальности ткань занимает среди других материалов особое место. Как известно, ткани образованы переплетением нитей, имеющих цилиндрическую форму. Таким образом, поверхность ткани состоит из множества выпуклых элементов. В работе [5] установлено, что цилиндрические поверхности характеризуются более высоким краевым углом смачивания, чем плоские. Кроме того, авторы [6, 7] доказали, что ткань благодаря ее сложному, образованному переплетенными нитями строению можно считать готовой структурой с многомодальной шероховатостью. Указанные факторы благоприятствуют достижению гидрофобности ткани.

В то же время требования, предъявляемые к потребительским свойствам готовой ткани, значительно усложняют решение проблемы придания ей водоотталкивающих свойств. В частности, как уже указывалось, нужно, чтобы ткань после гидрофобизации сохраняла способность «дышать», которая характеризуется высокими значениями воздухо- и паропроницаемости. Следовательно, покрытие, сформированное гидрофобизатором, должно быть нанесено только на поверхность нитей и не занимать пространство между ними. После гидрофобизации ткань должна сохранять драпируемость и не быть слишком жесткой. Это диктует дополнительные требования к жесткости покрытия на основе гидрофобизатора, которая характеризует его пластические свойства [8]. Обязательным условием является также устойчивость достигнутого эффекта к интенсивным эксплуатационным воздействиям – трению, стиркам, химическим чисткам, т. е. адгезия покрытия к волокнистому материалу должна быть высокой. Кроме того, в работах [9-11] показано, что важнейшей характеристикой гидрофобности ткани является низкое водопоглощение – способность образца поглощать жидкость при полном погружении его в воду в течение часа. Очевидно, что для придания волокнистому материалу низкого водопоглощения нанесенное на него покрытие не должно иметь дефектов, через которые

может проникнуть вода. Следовательно, можно констатировать, что для сохранения высоких эксплуатационных характеристик ткани при ее водоотталкивающей отделке нужно нанести на поверхность каждой нити умеренно жесткое покрытие на основе гидрофобизатора, обладающее высокой адгезией к волокну. Сформированное покрытие должно быть равномерным и бездефектным. Кроме того, для сохранения влияния многомодальности ткани на процесс ее смачивания нужно, чтобы покрытие повторяло микро- и нанорельеф волокна, т. е. оно должно быть ультратонким.

Такое покрытие сформировать весьма трудно. Особенно сложными объектами для гидрофобизации являются синтетические волокнистые материалы, в частности, широко распространенные материалы на основе полиэтилентерефталата – полиэфирные ткани и трикотаж. Они обладают плотной, гладкой, химически малоактивной поверхностью и отличаются ничтожно малым содержанием активных групп, которые могли бы обеспечить прочную фиксацию модифицирующих веществ. Это приводит к значительным затруднениям при попытках нанесения на их поверхность любых функциональных препаратов [12].

Главным требованием к гидрофобизатору является его низкая поверхностная энергия. Наиболее низкой поверхностной энергией характеризуются покрытия на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), однако формирование их на ткани до сих пор являлось технологически неосуществимым. Несколько более высокой, чем у ПТФЭ, поверхностной энергией обладают другие фторсодержащие соединения [13-15]. Ранее в промышленности для гидрофобизации тканей наиболее широко применялись производные перфтороктановой кислоты. Однако было установлено, что такие соединения могут быть потенциально канцерогенными [16]. В связи с этим были введены ограничения на их использование. Но известно большое количество других фторсодержащих препаратов, которые можно использовать в качестве гидрофобизаторов для ткани. Например, в ра-

ботах [17, 18] для формирования покрытий с высокой гидрофобностью применяются препараты на основе фторалкилсиланов, в [19, 20] – препараты на основе политетрафторэтилена. Однако все эти гидрофобизаторы являются нерастворимыми в воде, в связи с чем наносятся на ткань в основном из эмульсий или дисперсий. Следствием использования такого способа нанесения является формирование толстых неравномерных покрытий с большим количеством дефектов. Хотя ткань после обработки характеризуется высокими краевыми углами смачивания, достигнутый эффект является метастабильным, т. к. ткани не удается придать низкое водопоглощение. Сформированные покрытия также являются недостаточно устойчивыми к эксплуатационным воздействиям.

Для получения устойчивых высокогидрофобных покрытий ведутся исследования по совершенствованию гидрофобизаторов, разработке новых способов их нанесения. В частности, в ИПХФ РАН методом радиационно-инициируемой теломеризации были синтезированы теломеры тетрафторэтилена в целом ряде растворителей различной природы и реакционной способности [21]. Получены растворы фторсодержащих теломеров  $R_1-(C_2F_4)_n-R_2$  с различными функциональными концевыми группами  $R_1$ ,  $R_2$  и длиной тетрафторэтиленового блока  $n$ . В работах [8, 11, 22, 23] показано, что пленкообразующими, адгезионными свойствами и хорошей термической устойчивостью обладают теломеры тетрафторэтилена, синтезированные в ацетоне, хлористом бутиле и триметилхлорсилане.

Целью настоящей работы являлась оценка эффективности использования указанных теломеров тетрафторэтилена (ТФЭ) в качестве гидрофобизаторов в процессах придания водоотталкивающих свойств полиэфирным тканям.

#### *Материалы и методы*

В качестве объектов исследования использовалась полиэфирная (ПЭФ) ткань плотняного переплетения поверхностной плотностью  $180 \pm 10$  г/м<sup>2</sup> и числом нитей  $216 \pm 4$  на 10 см по основе и  $203 \pm 4$  на 10 см по утку. В некоторых экспериментах ис-

пользовалась ПЭФ пленка толщиной 15 мкм поверхностной плотностью  $19,5 \pm 0,1$  г/м<sup>2</sup>.

В качестве гидрофобизаторов применялись теломеры тетрафторэтилена, синтезированные с использованием радиационного инициирования из фтормономеров в ряде органических растворителей (Институт проблем химической физики Российской академии наук, Россия). Для настоящей работы выбраны теломеры ТФЭ, синтезированные в ацетоне (ТФЭ/АЦ), бутилхлориде (ТФЭ/БХ), триметилхлорсилане (ТФЭ/ТМХС). Их синтез и свойства описаны в работах [22, 23].

Для обработки образцов ПЭФ ткани использовались растворы теломеров ТФЭ/АЦ, ТФЭ/БХ, разбавленные ацетоном, и ТФЭ/ТМХС, разбавленные этилацетатом до концентрации 2 %. Образцы ПЭФ ткани погружались в раствор теломеров, время пропитки составляло ~ 10 с. Пропитка тканей проводилась многократно (до трех раз). После каждой пропитки образцы ткани подвергались сушке при  $T = 20-25$  °С в течение 24 часов для удаления растворителя. После сушки образцов осуществлялась термообработка при  $T = 150$  °С в течение 1 мин. В результате были получены образцы с одно-, двух- и трехслойным покрытием из теломеров.

ИК-спектры регистрировались на спектрометре типа Avatar ESP 360 (фирма Nicolett) методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) с использованием кристалла селенида цинка с 12-кратным отражением в диапазоне от 700 до 1500 см<sup>-1</sup>.

Краевой угол смачивания водой измерялся методом Оуэнса-Вендта [24]. Водопоглощение тканей определялось в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) как количество воды, удерживаемой образцом ткани после полного погружения его в жидкость в течение одного часа. Проводилось по 10 параллельных измерений.

Текстура волокнистого материала и морфология покрытия исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SBH (TESCAN) и атомно-силового микроскопа Solver P 47-PRO (NT-MDT).

Устойчивость эффекта гидрофобности к истирающим воздействиям оценивали по изменению величины краевого угла смачивания ПЭФ ткани с теломерным покрытием после 50-кратного истирающего воздействия с использованием специального прибора оценки устойчивости окраски к трению ПТ-4 [25].

Жесткость покрытий оценивали методом силовой спектроскопии с помощью атомно-силового сканирующего зондового микроскопа Solver-47Pro (NT MTD, Россия). Метод основан на измерении величины отклонения (степени изгиба) кантилевера в процессе подъема и опускания образца. Методика подробно описана в работах [8, 26]. Величину адгезии определяли по закону Гука на основании известного значения коэффициента жесткости используемого зонда (3,5 Н/м) при отведении его от поверхности. Относительную жесткость характеризовали относительной величиной изгиба кантилевера в процессе приближения зонда к поверхности. Погрешность определения этих характеристик составляет ~ 5 %.

#### Результаты и обсуждение

Несмотря на то, что само полиэфирное (ПЭФ) волокно, полученное из полиэтилентерефталата, является гидрофобным, ткани, выработанные из него, которые характеризуются сложной капиллярно-пористой структурой, не обладают свойствами водоотталкивания: капли жидкости, попавшие на них, быстро впитываются в межволоконные пространства. Нанесение растворов теломеров ТФЭ на ПЭФ материал осуществляли аэрозольным способом или погружением образца в раствор с последующим испарением растворителя при термообработке ткани (150 °С). После удаления растворителя происходит образование фторсодержащего покрытия. Для достижения различного содержания ТФЭ на ткани осуществляли одно- и многократное нанесение теломеров.

Учитывая возможность набухания волокнообразующего полимера в органическом растворителе, следствием которого могла стать диффузия макромолекул теломера во внутренние области нитей, на примере ТФЭ/АЦ и ТФЭ/БХ подтвердили факт их осаждения на поверхности волокнистого материала. Для этого использова-

ли метод ИК-спектроскопии (МНПВО). Соответствующие ИК-спектры в диапазоне 700-1500  $\text{см}^{-1}$  представлены на рис. 1.

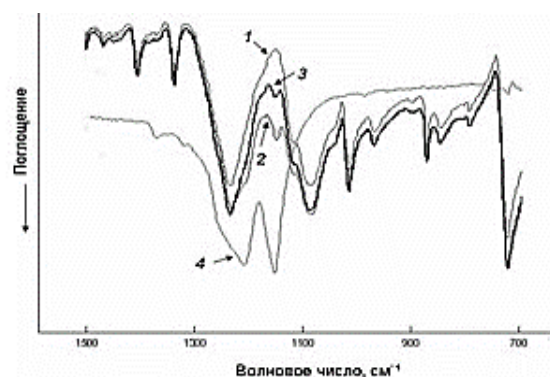


Рис. 1

Наиболее интенсивные полосы в спектре политетрафторэтилена регистрируются в области 1153  $\text{см}^{-1}$  и 1208  $\text{см}^{-1}$ , они относятся к валентным колебаниям  $-\text{CF}_2-$  групп [27]. В спектрах обработанной ткани (2, 3) появляются аналогичные полосы в отличие от спектров исходной (1), что отображает образование на поверхности ткани фторсодержащего покрытия.

На рис. 2 представлено изображение ПЭФ ткани с покрытием, нанесенным из раствора ТФЭ/БХ. Аналогичный вид имеют образцы тканей, обработанных ТФЭ/АЦ и ТФЭ/ТМХС.

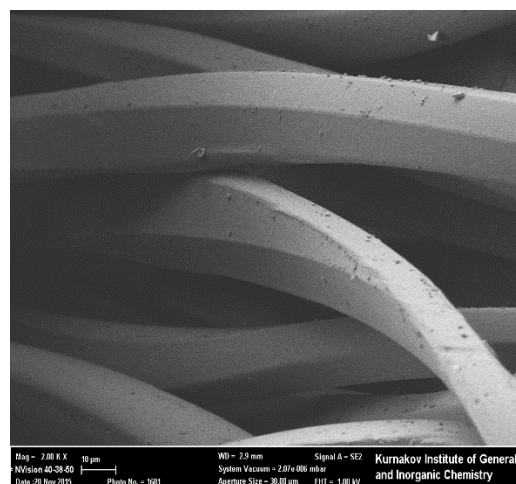


Рис. 2

Изображение свидетельствует о том, что межниточные пространства в ткани остаются свободными, так как покрытия формируются исключительно на поверхности отдельных нитей.

Количественное исследование состава покрытий, нанесенных из растворов теломеров ТФЭ, проведенное энергодисперсионным методом, обнаруживает незначительное содержание фтора – от 1,39 % при использовании ТФЭ/АЦ до 3,25 % при использовании ТФЭ/БХ. Несложный расчет показывает, что фторсодержащие покрытия характеризуются малой толщиной (около 300-600 нм) [28].

О морфологии покрытий, сформированных с использованием растворов теломеров ТФЭ, судили по данным атомно-силовой микроскопии, представленным на рис. 3.

Как видно из рисунка, поверхность фторполимерного покрытия на нитях полиэфирной ткани, сформированного из ТФЭ/АЦ и ТФЭ/ТМХС, отличается более высокой шероховатостью. Покрытие, полученное на основе ТФЭ/БХ, является более равномерным.

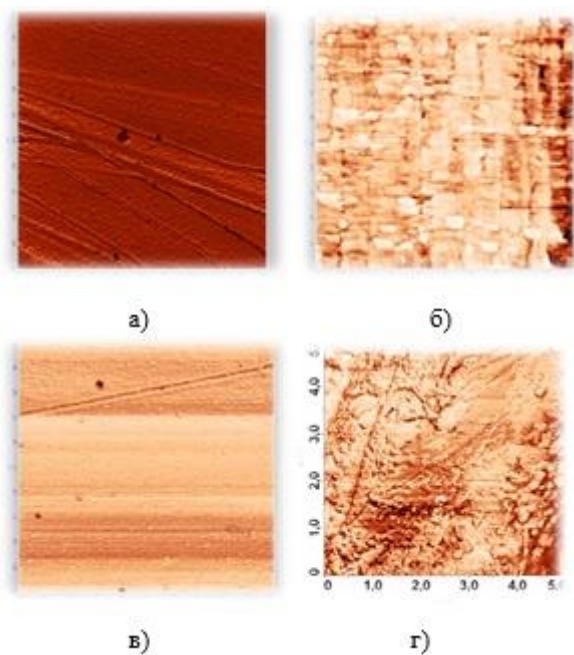


Рис. 3

Таким образом, нанесение на полиэфирную ткань теломеров с последующей термообработкой приводит к образованию на поверхности волокон сплошного фторполимерного покрытия. Сформированные ультратонкие покрытия повторяют микрорельеф волокна. Они также характеризуются шероховатостью на наноуровне, ко-

торая вносит дополнительный вклад в многомодальную шероховатость волокнистого материала. В зависимости от того, какой телоген и доза излучения использовались при синтезе теломеров и, следовательно, какие концевые группы они содержат и какой длины цепи характеризуются, меняется качество формируемого покрытия.

В табл. 1 представлены характеристики водоотталкивающих свойств ПЭФ ткани, обработанной различными теломерами ТФЭ. Для сравнения в таблице представлены также характеристики ПЭФ ткани, обработанной хорошо показавшим себя на практике фторсодержащим препаратом Nuva ТТН (Швейцария).

Т а б л и ц а 1

Кратность нанесения	Краевой угол смачивания, град	Водопоглощение, %
Ткань без гидрофобизатора		
0	Вода впитывается мгновенно	38,0 ± 0,9
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/АЦ		
2	127 ± 2	22,4 ± 0,2
3	127 ± 2	18,2 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/БХ		
2	131 ± 2	10,3 ± 0,2
3	132 ± 2	4,9 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/ТМХС		
2	125 ± 2	1,2 ± 0,1
3	123 ± 2	2,4 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе препарата Nuva ТТН		
1 (30 г/л)	132 ± 4	12,0 ± 0,2

Оценка водоотталкивающих свойств ПЭФ ткани, обработанной различными теломерами ТФЭ, показала, что модифицированная ткань приобретает высокие краевые углы смачивания – 123-132°. Особенно следует отметить низкое водопоглощение, которое ткань приобретает при использовании теломеров ТФЭ/БХ и ТФЭ/ТМХС: оно составляет 4,9 % и 2,4 % соответственно, тогда как использование высокоэффективного препарата Nuva ТТН (Швейцария) позволяет достичь только 12 %. Значение водопоглощения необработанной ткани составляет 38%.

Устойчивость достигнутого эффекта гидрофобности оценивали по показателям краевого угла смачивания обработанной ткани, подвергнутой ряду испытаний. Полученные данные представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Краевой угол смачивания до испытания, град.	Краевой угол смачивания, град., после		
	100 циклов истирания	25 стирок	25 химических чисток
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/АЦ			
127 ± 2	135 ± 2	124 ± 2	132 ± 2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/БХ			
132 ± 2	138 ± 2	127 ± 2	132 ± 2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/ТМХС			
123 ± 2	124 ± 2	124 ± 2	129 ± 2
Ткань с покрытием на основе препарата Nuva ТТН			
132 ± 4	111 ± 4	103 ± 5	120 ± 5

Из таблицы следует, что покрытия, сформированные различными теломерами ТФЭ, обладают очень высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям. Она существенно превышает устойчивость покрытий на основе применяемого в производстве высокоэффективного препарата Nuva ТТН. Сопоставление свойств покрытий на основе различных теломеров ТФЭ показывает, что все они характеризуются сходной устойчивостью к воздействию стирки и химической чистки. Однако покрытия на основе теломеров ТФЭ/АЦ и ТФЭ/БХ значительно лучше сопротивляются воздействию истирания, чем покрытия на основе ТФЭ/ТМХС. Это может быть связано с разницей в пластических свойствах покрытий, которая отражается на морфологии покрытий. Разница в структуре поверхности дает возможность оценить пластические свойства покрытий методом силовой спектроскопии, который реализуется с помощью атомно-силового микроскопа [29]. Метод силовой спектроскопии основан на непосредственном взаимодействии между атомами поверхности и зондовым датчиком микроскопа. На расстоянии около одного ангстрема между атомами образца и атомом зонда действуют силы отталкивания, а на больших расстояниях – силы притяжения. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли зонда, регистрируя величину которого можно получить информацию о жесткости поверхности в отдельных точках.

Экспериментальная оценка жесткости позволила установить, что этот показатель

для теломеров ТФЭ/АЦ составляет 0,015, ТФЭ/БХ – 0,024, ТФЭ/ТМХС – 0,042, т. е. покрытие на основе ТФЭ/ТМХС обладает значительно более высокой жесткостью. Из сопоставления данных о жесткости покрытий и устойчивости их к воздействию истирания становится ясно, что покрытия с более высокой жесткостью обладают меньшей устойчивостью к истиранию.

## ВЫВОДЫ

Оценка возможности использования ряда теломеров ТФЭ в качестве гидрофобизаторов для полиэфирной ткани показала, что при нанесении на ткань теломеров ТФЭ/АЦ, ТФЭ/БХ и ТФЭ/ТМХС на поверхности каждой нити, составляющей ткань, образуются ультратонкие покрытия, которые обладают свойствами, подобными свойствам политетрафторэтилена, и повторяют микро- и нанорельеф волокна. Ткань с таким покрытием обладает высоким краевым углом смачивания (123-132°). Водопоглощение варьируется в зависимости от вида теломера и кратности нанесения покрытия. Максимально высокий краевой угол смачивания достигается при использовании растворов теломеров ТФЭ/ХБ, наиболее низкое значение водопоглощения ткани наблюдается при использовании растворов теломеров ТФЭ/ТМХС. Таким образом, установлено, что теломеры ТФЭ являются эффективными гидрофобизаторами для ПЭФ тканей, их использование может обеспечить придание тканям высокого краевого угла смачивания и низкого водопоглощения. Основное их отличие связано с разной пластичностью формируемых покрытий, характеризующихся показателем жесткости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение // Успехи химии. 2008. № 77 (7). С. 619...638.
2. Park S., Kim J., Park C.H. Superhydrophobic Textiles: Review of Theoretical Definitions, Fabrication and Functional Evaluation // J. Eng. Fiber Fabr. 2015. V. 10. P. 1...18.



3. Li S., Huang J., Chen Z., Chena G., Lai Y. A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications // *J. Mater. Chem. A* - 2017, V. 5. P. 31...55.
4. Jeevahan J., Chandrasekaran M., Joseph G.B., Durairaj R.B., Mageshwaran G. Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges // *J. Coat. Technol. Res.* 2018, V. 15. P. 231...250.
5. Boinovich L., Emelyanenko A. The prediction of wettability of curved surfaces on the basis of the isotherms of the disjoining pressure // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2011. V. 383. P. 10...16.
6. Ramaratnam K., Iyer S.K., Kinnan M.K., Chumanov G., Brown P.J., Luzinov I. Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach // *J. Eng. Fiber Fabr.* 2008. V. 3. P. 1...14.
7. Gao L.C., McCarthy T. J. Teflon is hydrophilic. Comments on definitions of hydrophobic, shear versus tensile hydrophobicity, and wettability characterization // *Langmuir.* 2008. V. 24. P. 9183...9188.
8. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Новиков В.В., Холодков И.В. Регулирование трибологических характеристик тканых полиэфирных материалов при модифицировании их теломерами тетрафторэтилена // *Трение и износ.* 2018. Т.39, №2. С. 157...165.
9. Halimatul M.J., Sapuan S.M., Jawaid M., Ishak M.R., Ilyas R.A. Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles // *Polimery.* 2019. V. 64. P. 27...35.
10. Ilyas R.A., Sapuan S.M., Atiqah A., Rushdan I., Hairul A., Ishak M.R., Zainudin E.S., Nurazzi N.M., Atikah M.S.N., Ansari M.N.M., Asyraf M.R.M., Supian A.B.M., Ya Hamdan. Sugarpalm (Arengapinnata [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties // *Polym. Compos.* 2019. V. 41. P. 459...467.
11. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P. Coatings based on tetrafluoroethylene telomeres synthesized in trimethylchlorosilane for obtaining highly hydrophobic polyester fabrics // *Prog. Org. Coat.* 2020. V. 139. 105485.
12. Пророкова Н.П., Хорев А.В., Вавилова С.Ю. Химический способ поверхностной активации волокнистых материалов на основе полиэтилентерефталата. Ч. 1. Исследование действия растворов гидроксида натрия и препаратов на основе четвертичных аммониевых солей // *Химические волокна.* 2009. № 3. С. 11...16.
13. Petrie E.M. Handbook of adhesives and sealants. 2<sup>nd</sup> ed. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2007. 1039 p.
14. Козуб Д.А., Редина Л.В., Эльманович И.В., Денисов М.Е. Исследование защитных свойств волокнистых материалов, модифицированных композициями на основе фторполимерного латекса // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 2023. № 3 (405). С. 156...162.
15. Калдыбаева Г.Ю., Набиева И.А., Елдияр Г.К., Нуркулов Ф.Н. Изучение влияния природы гидрофобизирующих композиций на водоотталкивающую способность ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 2022. № 3 (399). С. 157...164.
16. Armitage J.M., MacLeod M., Cousins I.T. Comparative Assessment of the Global Fate and Transport Pathways of Long-Chain Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) and Perfluorocarboxylates (PFCs) Emitted from Direct Sources // *Environmental Science & Technology.* 2009. V. 43. P. 5830...5836.
17. Xue C.-H., Zhang P., Ma J.-Z., Ji P.-T., Li Y.-R., Jia S.-T. Long-lived superhydrophobic colorful surfaces // *Chem. Commun.* 2013. V. 49. 3588.
18. Schondelmaier D., Cramm S., Klingeler R., Morenzin J., Zilkens C., Eberhardt W. Orientation and self-assembly of hydrophobic fluoroalkylsilanes // *Langmuir.* 2002. V. 18. P. 6242...6245.
19. Oner D., McCarthy J.T. Ultrahydrophobic surfaces. Effects of topography length scales on wettability // *Langmuir.* 2000. V. 16. P. 7777...7782.
20. Minko S., Müller M., Motornov M., Nitschke M., Grundke K., Stamm M. Two-level structured self-adaptive surfaces with reversibly tunable properties // *J. Am. Chem. Soc.* 2003. V. 125. P. 3896...3900.
21. Фторполимерные материалы / отв. ред. академик В.М. Бузник. Томск: Изд-во НТЛ, 2017. 600 с.
22. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Хорев А.В., Бузник В.М., Кирюхин Д.П., Большаков А.И., Кичигина Г.А. Придание полиэфирным текстильным материалам высокой гидрофобности обработкой их раствором теломеров тетрафторэтилена // *Хим. волокна.* 2010. № 2. С. 25...30
23. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Кичигина Г.А. Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов растворами теломеров тетрафторэтилена, синтезированными в ацетоне и хлористом бутиле: свойства и структура покрытий // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* 2015. Т. 51. С. 428...435.
24. Owens D.K., Wendt R.C. Estimation of the surface free energy of polymers // *J. Appl. Polymer Sci.* 1969. V. 13. P. 1741...1747.
25. Красители для текстильной промышленности / под ред. А.Л. Бяльского, В.В. Карпова. М.: Химия, 1971. 311 с.
26. Prorokova N., Kumeeva T.; Kholodkov I. Formation of Coatings Based on Titanium Dioxide Nanoparticles on Polyester Fibre Materials // *Coatings.* 2020. V. 10. 82.
27. Dechant J., Danz R., Kimmer W., Schmolke R. Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren. Akademie-Verlag, Berlin 1972. 472 p.
28. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Бузник В.М. Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов теломерными растворами тетрафторэтилена // *Журнал прикладной химии.* 2013. Т. 86, №1. С. 68...73.



29. Ferreira O.D.S., Gelinck E., de Graaf D., Fisher H.R. Adhesion experiments using an AFM – Parameters of influence // *Appl. Surf. Sci.* 2010, V. 257. P. 48...55.

#### REFERENCES

1. Boinovich L.B., Emelyanenko A.M. Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications // *Russ. Chem. Rev.* 2008, 77 (7). P. 583...600.

2. Park S., Kim J., Park C.H. Superhydrophobic Textiles: Review of Theoretical Definitions, Fabrication and Functional Evaluation // *J. Eng. Fiber Fabr.* 2015. V. 10. P. 1...18.

3. Li S., Huang J., Chen Z., Chena G., Lai Y. A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications // *J. Mater. Chem. A* - 2017, V. 5. P. 31...55.

4. Jeevahan J., Chandrasekaran M., Joseph G.B., Durairaj R.B., Mageshwaran G. Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges // *J. Coat. Technol. Res.* 2018, V. 15. P. 231...250.

5. Boinovich L., Emelyanenko A. The prediction of wettability of curved surfaces on the basis of the isotherms of the disjoining pressure // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* - 2011, V. 383. P. 10...16.

6. Ramaratnam K., Iyer S.K., Kinnan M.K., Chumanov G., Brown P.J., Luzinov I. Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach // *J. Eng. Fiber Fabr.* 2008, V. 3. P. 1...14.

7. Gao L.C., McCarthy T. J. Teflon is hydrophilic. Comments on definitions of hydrophobic, shear versus tensile hydrophobicity, and wettability characterization // *Langmuir.* 2008, V. 24. P. 9183...9188.

8. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Novikov V.V., Holodkov I.V. Regulation of the tribological characteristics of polyester fabrics by surface modification using tetrafluoroethylene telomers // *J. Frict. Wear.* 2018, V. 39. P. 121...128.

9. Halimatul M.J., Sapuan S.M., Jawaid M., Ishak M.R., Ilyas R.A. Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles // *Polimery.* 2019, V. 64. P. 27...35.

10. Ilyas R.A., Sapuan S.M., Atiqah A., Rushdan I., Hairul A., Ishak M.R., Zainudin E.S., Nurazzi N.M., Atikah M.S.N., Ansari M.N.M., Asyraf M.R.M., Supian A.B.M., Ya Hamdan. Sugarpalm (Arengapinnata [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties // *Polym. Compos.* 2019, V. 41. P. 459...467.

11. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P. Coatings based on tetrafluoroethylene telomers synthesized in trimethylchlorosilane for obtaining highly hydrophobic polyester fabrics // *Prog. Org. Coat.* 2020, V. 139. 105485.

12. Prorokova N.P., Khorev A.V., Vavilova S.Y. Chemical method of surface activation of

poly(ethylene terephthalate) fibre materials. Part 1. Study of the Modifying Effect of Sodium Hydroxide Solutions and Products Made from Quaternary Ammonium Salts // *Fibre Chem.* 2009, V. 41. P. 158...163.

13. Petrie E.M. Handbook of adhesives and sealants / 2<sup>nd</sup> ed. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2007. 1039 p.

14. Kozub D.A., Redina L.V., Elmamovich I.V., Denisov M.E. Issledovanie zaschitnih svoystv voloknistih materialov, modifitsirovannih kompizitsiami na osnove ftorpolymernogo lateksa // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2023, № 3 (405). S. 156...162.

15. Kaldibaeva G.Y., Nabieva I.A., Eldiar G.K., Nurkulov F.N. Izuchenie vliania prirodi gidrofobiziruyuschih kompozitsii na vodoottalkivaushuy sposobnost tkani // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 3 (399). S. 157...164.

16. Armitage J.M., MacLeod M., Cousins I.T. Comparative Assessment of the Global Fate and Transport Pathways of Long-Chain Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) and Perfluorocarboxylates (PFCs) Emitted from Direct Sources // *Environmental Science & Technology.* 2009, V. 43. P. 5830...5836.

17. Xue C.-H., Zhang P., Ma J.-Z., Ji P.-T., Li Y.-R., Jia S.-T. Long-lived superhydrophobic colorful surfaces // *Chem. Commun.* 2013, V. 49. 3588.

18. Schondelmaier D., Cramm S., Klingeler R., Morenzin J., Zilkens C., Eberhardt W. Orientation and self-assembly of hydrophobic fluoroalkylsilanes // *Langmuir.* 2002, V. 18. P. 6242...6245.

19. Oner D., McCarthy J.T. Ultrahydrophobic surfaces. Effects of topography length scales on wettability // *Langmuir.* 2000. V. 16. P. 7777...7782.

20. Minko S., Müller M., Motornov M., Nitschke M., Grundke K., Stamm M. Two-level structured self-adaptive surfaces with reversibly tunable properties // *J. Am. Chem. Soc.* 2003, V. 125. P. 3896...3900.

21. Ftorpolimernie materialy / pod red. Akademika Buznika V.M. – Tomsk: Izd. NTL, 2017. 600 s.

22. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Khorev A.V., Buznik V.M., Kiryukhin D.P., Bol'shakov A.I., Kichigina G.A. Giving polyester textile materials high water repellency by treating them with a solution of tetrafluoroethylene telomers // *Fibre Chem.* 2010. V. 42. P. 103...108.

23. Kumeeva T.Yu., Prorokova N.P., Kichigina G.A. Hydrophobization of polyester textile materials with solutions of tetrafluoroethylene telomers synthesized in acetone and butyl chloride: properties and structure of coatings // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces.* 2015, V.51. P. 428...435.

24. Owens D.K., Wendt R.C. Estimation of the surface free energy of polymers // *J. Appl. Polymer Sci.* 1969, V. 13. P. 1741...1747.

25. Krasiteli dlia tekstilnoi promishlennosti / pod red. A.L. Bialskogo, V.V. Karpova. M.: Khimia, 1971. 311 s.

26. Prorokova N., Kumeeva T.; Kholodkov I. Formation of Coatings Based on Titanium Dioxide Nanosols on Polyester Fibre Materials // Coatings. 2020. V. 10. 82.

27. Dechant J., Danz R., Kimmer W., Schmolke R. Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren. Akademie-Verlag, Berlin 1972. 472 p.

28. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kiryukhin D.P., Buznik V.M. Hydrophobization of polyester textile materials with telomeric tetrafluoroethylene solutions // Rus. J. Appl. Chem. 2013. V. 86. P. 69...75.

29. Ferreira O.D.S., Gelinck E., de Graaf D., Fisher H.R. Adhesion experiments using an AFM – Parameters of influence // Appl. Surf. Sci. 2010. V. 257. P. 48...55.

Рекомендована научно-исследовательским отделом 4 «Химия и технология модифицированных волокнистых материалов» Института химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук. Поступила 03.11.23.

УДК 66.081.6

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_163

## МОДИФИЦИРОВАННОЕ НЕТКАНОЕ ФИЛЬТРУЮЩЕЕ ПОЛОТНО НА ОСНОВЕ ПЭТФ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ\*

### MODIFIED NON-WOVEN FILTER FABRIC BASED ON PET FOR WATER PURIFICATION

*E.S. ДМИТРИЕВА, А.П. НЕБЕССКАЯ, Е.А. ГРУШЕВЕНКО, Т.С. АНОХИНА, А.В. ВОЛКОВ*  
*E.S. DMITRIEVA, A.P. NEBESSKAYA, E.A. GRUSHEVENKO, T.S. ANOKHINA, A.V. VOLKOV*

(ИНХС РАН им. А.В. Топчиева)

(A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis RAS)

E-mail: tsanokhina@ips.ac.ru

*Загрязнение вод является большой проблемой современности. Для ее решения авторами разработаны модифицированные фильтры на основе нетканого полотна из полиэтилентерефталата (ПЭТФ). В качестве модификатора использовали природный полимер альгинат, сшитый катионами II и III валентных металлов. Альгинаты повышают гидрофильность ПЭТФ, что положительно сказывается на устойчивости мембран к загрязнениям маслами. Фильтры показали свою устойчивость к воздействию органических растворителей. Это открывает большие возможности применения разработанных мембран при фильтрации реальных водных стоков, сложенных по своему составу. Модификация альгинатом позволяет существенно увеличить задерживающую способность нетканого фильтрующего полотна. Показано, что сшивающий катион модификатора вносит определяющий вклад в фильтрующую способность полотна. Так, в ряду полотен, модифицированных альгинатом  $\text{Cu}^{2+}$  -  $\text{Al}^{3+}$  -  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Fe}^{3+}$ , селективность по красителю Remazol Brilliant Blue R возрастает от 18 до 88%. Сравнительная фильтрация антибиотика цефтриаксона через ПЭТФ полотно и полотно, модифицированное альгинатом железа, показала, что задерживающая способность возрастает с 5% до 69%.*

\*Результаты получены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Проект 13.2251.21.0166 (идентификатор проекта RF---2251.61322X0044). Соглашение МНТС БРИКС 075-15-2022-1218.

*Water pollution is a big problem of our time. To solve this problem, the authors have developed modified filters based on non-woven fabric made of polyethylene terephthalate (PET). The natural polymer alginate cross-linked with cations of II and III valence metals was used as a modifier. Alginates increase the hydrophilicity of PET, which has a positive effect on the resistance of membranes to contamination with oils. The filters have shown their resistance to organic solvents. It opens up great opportunities for the developed membranes when filtering real water wastes with complex composition. Modification with alginate can significantly increase the retention capacity of a non-woven filter fabric. It has been shown that the cross-linking cation of the modifier makes a decisive contribution to the filtering ability of the fabric. In a series of fabrics modified with alginate  $Cu^{2+}$  -  $Al^{3+}$  -  $Ca^{2+}$  -  $Fe^{3+}$ , selectivity for the model dye Remazol Brilliant Blue R increases from 18 to 89%. Based on comparative filtration of the antibiotic ceftriaxone through PET fabric and fabric modified with iron alginate, it was shown that the retention capacity increases from 5% to 69%.*

**Ключевые слова:** полиэтилентерефталат, фильтрующее полотно, нанофильтрация, антибиотики, модификация, инверсия фаз, альгинат.

**Keywords:** polyethylene terephthalate, fabric filter, nanofiltration, antibiotics, modification, phase inversion, alginate.

Одной из основных проблем настоящего времени является загрязнение природных вод. Особенно остро этот вопрос стоит в связи с локальной недостаточностью водных ресурсов. Большой вклад в загрязнение природных вод вносит промышленность, в том числе текстильные предприятия. Так, на производство 1 кг ткани затрачивается примерно 100-200 кг воды [1] в зависимости от ее типа. Например, на производство х/б ткани затрачивается более чем в 2 раза больше воды, чем на акриловые ткани [2]. Известно, что в состав сточных вод текстильных предприятий входят щелочи, кислоты, органические растворители, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты и красители [3]. Примерно тот же качественный состав имеют сточные воды многих других типов производств [4]. Отличия заключаются лишь в концентрации отдельных компонентов.

Особым составом обладают стоки фармацевтических и пищевых производств,

отходы рыбоводства, животноводства, медицинских учреждений, бытовые стоки [5, 6]. В них появляется еще один компонент – антибиотики [7-9], представляющие особую опасность для человечества [10-11]. Данная проблема актуальна для всего мира. Это подтверждают исследования состояния окружающей среды в разных странах и регионах [12-14]. Массовое и неконтролируемое использование антибиотиков приводит к катастрофам не только в сфере экологии, но и в сферах фармацевтики и здравоохранения [15-18]. Главная опасность загрязнения окружающей среды антибиотиками заключается в появлении резистентности у микроорганизмов (табл. 1). В связи с этим «старые» антибиотики становятся непригодными для лечения, и фармацевтика вынуждена находиться в постоянном поиске новых лекарств.

Т а б л и ц а 1

Антибиотик	Год открытия	Резистентные микроорганизмы	Год появления резистентности
Пенициллин	1928	Стафилококки	1940
		Пневмококки	1965
Тетрациклин	1950	Шигеллы	1959
Эритромицин	1953	Стрептококки	1968
Метициллин	1960	Стафилококки	1962

Гентамицин	1967	Энтерококки	1979
Ванкомицин	1972	Энтерококки	1988
		Стафилококки	2002
Цефтриаксон	1982	Гонококки ( <i>Neisseria gonorrhoeae</i> )	2009
Имипенем	1985	Энтеробактерии	1998
Цефтазидим	1985	Энтеробактерии	1987
Левофлоксацин	1996	Пневмококки	1996
Линезолид	2000	Стафилококки	2001
Цеftarолин	2010	Стафилококки	2011

Таким образом, здоровье и жизнь человечества зависит от разработки эффективных методов очистки сточных вод от загрязнителей различных типов. Очистка сточных вод может осуществляться с помощью коагуляции-флокуляции [19, 20], фотокаталитической деградации [21], адсорбции [22, 23], ультразвукового облучения [24], биологической очистки [25-29], физической очистки, например, под действием центробежных сил [30]. Данные методы часто предполагают использование дополнительных реагентов. Это создает дополнительную нагрузку на этапе утилизации образующегося ила и обуславливает высокую стоимость процесса [31].

Хорошей альтернативой данным методам являются фильтрационные, в том числе баромембранные, процессы [32]. Они не требуют реагентов, отличаются низкими энергетическими затратами, нечувствительны к условиям окружающей среды. К баромембранным процессам относятся микрофильтрация (МФ), ультрафильтрация (УФ), нанофильтрация (НФ) и обратный осмос (ОО) [31, 33].

Сложный состав сточных вод, часто включающий в себя органические растворители, накладывает дополнительные ограничения при выборе материалов фильтров. Химическая устойчивость является одним из ключевых требований к фильтрующему полотну (мембране) наряду с высокими разделительными и транспортными характеристиками, а также невысокой стоимостью. В связи с этим большое внимание обращают на себя недорогие промышленные полимеры, устойчивые в большинстве органических растворителей.

К примеру, полиэтилентерефталат (ПЭТФ) является устойчивым к воздействию многих, в том числе и агрессивных,

органических растворителей [34, 35]. Наиболее известными исключениями из списка растворителей являются аминоспирты, с которыми полиэтилентерефталат реагирует с образованием более низкомолекулярных продуктов [36], а также спирты, способствующие гидролизу ПЭТФ в щелочной среде [37]. С точки зрения переработки полимерных отходов такая химическая устойчивость является большим недостатком полимера, но в мембранной технологии – большим преимуществом. Так, благодаря устойчивости к воздействию большинства органических растворителей ПЭТФ является перспективным полимером для изготовления волокнистых фильтрационных мембран, в том числе и для решения проблем очистки сточных вод с текстильных предприятий или выделения антибиотиков.

ПЭТФ уже хорошо известен в качестве мембранного полимера [38]. Полиэтилентерефталат используют в мембранной дистилляции [39], в фильтрационных процессах для разделения газовых сред [40, 41] и водоочистки [42]. ПЭТФ зарекомендовал себя в процессах микро- (МФ) и ультрафильтрации (УФ) для антимикробной очистки воды [43] и при разделении водонефтяных эмульсий [44, 45, 46]. К сожалению, ПЭТФ в чистом виде не всегда может обеспечить необходимый уровень селективности или быстро подвергается загрязнению, в связи с чем мембранные свойства резко ухудшаются. Для повышения фильтрационных и эксплуатационных характеристик иногда прибегают к модификации ПЭТФ. Для повышения устойчивости к загрязнению используют гидрофилизацию ПЭТФ, например, с помощью акриловой кислоты [47]. Для увеличения селективности в работе [48] ав-

торы использовали оксиды цинка и железа. Разработанная ими мембрана показала высокую эффективность при удалении ионов тяжелых металлов из водных стоков. Для аналогичных целей использовали ПЭТФ мембрану, модифицированную хитозаном [49] и цеолитом [50]. Эти работы очень важны и демонстрируют возможность применения ПЭТФ не только для очистки воды от крупных загрязнителей в МФ и УФ процессах, но и для более тонкой нанофильтрационной очистки, что актуально для удаления красителей из сточных вод текстильных предприятий или для удаления антибиотиков.

В литературе в качестве модификаторов ПЭТФ известны гидрогели, в частности поли(N-изопропилакриламид) [51]. «Зеленые» технологии, которые актуальны в последнее время [52], требуют замены синтетических материалов на природные. Среди них широко известны хитозан и целлюлоза [53]. Перспективным природным [54] гидрогелем [55] для модификации ПЭТФ является сшитый катионами металлов альгинат. Гидрофильное альгинатное покрытие позволит увеличить устойчивость мембраны к загрязнениям. Фильтры на основе солей альгината давно применяются в нанофильтрационных процессах [56, 57, 58]. Важно, что альгинат – недорогой полимер, который добывается не только за рубежом, но и в России [59] и производится Очаковским комбинатом пищевых ингредиентов и Архангельским опытно-водорослевым комбинатом.

Таким образом, целью данной работы становится модификация нетканого фильтрующего полотна ПЭТФ солями альгината для повышения эффективности нанофильтрационной очистки сточных вод от красителей и антибиотиков.

#### Методы

В качестве мембранных фильтров использовали нетканое полотно ПЭТФ (Crane Technical Materials, США). Плотность нетканого полотна  $87 \text{ г/м}^2$ , толщина  $90\text{--}99 \text{ мкм}$ , воздухопроницаемость  $16,0\text{--}29,6 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{кПа}^{-1}$ .

Модификацию ПЭТФ осуществляли методом нанесения на его поверхность тонкого слоя из сшитого солями II и III ва-

лентных металлов альгината. Для этого модификатор (альгинат натрия – Alg (Rhône-Poulenc, Франция)) растворяли в дистиллированной воде в концентрации 10% масс. до образования однородного геля. На поверхности ПЭТФ ракельным ножом с зазором 0,2 мм формовали тонкий слой и сшивали его 0,35 моль-экв/л водными растворами неорганических солей на протяжении 30 минут (рис. 1). Для сшивки модификатора использовали неорганические соли (Химмед, Россия):  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . После сшивки мембранные фильтры дважды промывались дистиллированной водой в течение 10 минут, после чего подвергались испытаниям. При необходимости хранения мембранные фильтры помещали в дистиллированную воду. Для удобства введены условные обозначения фильтрующих полотен в зависимости от наличия модификации и сшивающего катиона модификатора: ПЭТФ, ПЭТФ-CaAlg, ПЭТФ-AlAlg, ПЭТФ-FeAlg, ПЭТФ-ZnAlg, ПЭТФ-CuAlg.

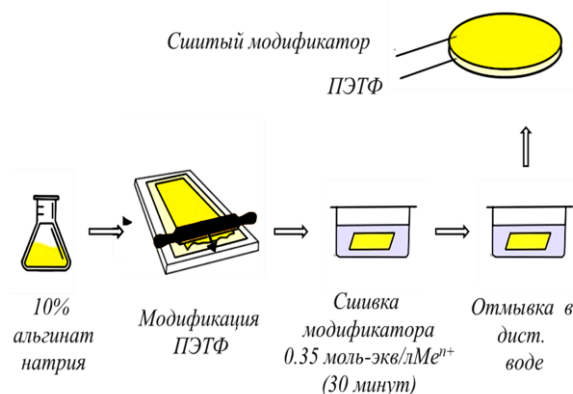


Рис. 1

Для исследования разделительных свойств мембранных фильтров применяли модельный краситель Remazol Brilliant Blue R (626 г/моль) производства Sigma Aldrich (Германия). С одной стороны, он моделирует компоненты сточных вод текстильной промышленности. С другой стороны, он близок по своей молекулярной массе ко многим антибиотикам. Также для оценки селективности мембранных фильтров использовали антибиотик цефтриак-

сон (555 г/моль) производства ОАО "Синтез" (Россия). Склонность к загрязнению оценивали с помощью химически чистого хлороформа производства Химмед-Синтез (Россия).

Гидрофильность поверхности фильтрующего полотна определяли путем измерения краевого угла смачивания с помощью гониометра ЛК-1 производства компании «ООО НПК «Открытая наука» (Россия) методом лежащей капли.

Для исследования устойчивости мембранных фильтров к органическим растворителям использовали этанол (Химмед, Россия), N-метилпирролидон – НМП (ACROS, Бельгия) и диметилформамид – ДМФ (Химмед, Россия). Исследования устойчивости к органическим растворителям проводили методом сорбционного эксперимента. Для измерения сорбции образцы мембранных фильтров помещали в выбранные растворители на несколько суток, предварительно измерив их массу. Ежедневно измеряли массу образцов после удаления с их поверхности избытка растворителя с помощью фильтровальной бумаги. Измерения останавливали в тот момент, когда характеристики мембранных фильтров на протяжении двух дней не изменялись. Для измерения сорбции использовали отдельно ПЭТФ и слой модификатора, снятый с мембранного фильтра. Расчет сорбции проводили по формуле:

$$K_s = \frac{m_1 - m_0}{m_0}, \quad (1)$$

где  $K_s$  – сорбция растворителя в полимерный материал, г/г;  $m_1$  – масса полимера после сорбции;  $m_0$  – масса полимера до сорбции.

Устойчивость к загрязнению маслами определяли с помощью хлороформа. Для этого на дно сосуда погружали исследуемый образец мембранного фильтра и заливали его водой. С помощью медицинского шприца на поверхность образца наносили каплю хлороформа ( $\rho = 1,49 \text{ г/см}^3$ ) и оценивали подводный контактный угол смачивания.

Для характеристики мембранных фильтров использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). СЭМ прово-

дилась на установке Thermo Fisher Phenom XLG2 Desktop SEM (США). Сколы мембран получали после предварительной пропитки мембран в изопропанол и последующего разламывания их в среде жидкого азота. С помощью настольного магнетронного напылителя Cressington 108 auto Sputter Coater (Великобритания) на подготовленные образцы в вакуумной камере ( $\sim 0,01$  мбар) наносился тонкий (5-10 нм) слой золота. Ускоряющее напряжение при съемке микрофотографий составляло 15 кэВ.

ИК-спектры ПЭТФ регистрировались в режиме отражения НПВО на ИК-микроскопе HYPERION-2000, сопряженном с Фурье-спектрометром IFS-66v/s-Bruker (скан. -50, кристалл Ge, разрешение  $2 \text{ см}^{-1}$ , диапазон  $600-4000 \text{ см}^{-1}$ ).

Для исследования нанофильтрационных свойств мембранных фильтров использованы ячейки тупикового типа. Диаметр мембран составлял 58 мм. Давление 20 атм нагнеталось гелием. Смесь, находящаяся в ячейках, постоянно перемешивалась магнитными мешалками для обеспечения равномерной концентрации веществ в растворах. Поток пермеата определяли весовым методом.

Поток выходящего пермеата отбирался в приемник жидкости. При этом измерялась масса пустого приемника и масса приемника с жидкостью. Производительность мембранных фильтров характеризовалась проницаемостью жидкости (P), которую рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{m}{S \Delta t \Delta p}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса пермеата, кг, прошедшего через мембранный фильтр с площадью  $S$ ,  $\text{м}^2$ , за промежуток времени  $\Delta t$ , ч;  $\Delta p$  – перепад давления.

Разделительные свойства мембранных фильтров исследовали с помощью растворов Remazol Brilliant Blue R с концентрацией 100 мг/л, а также раствора антибиотика цефтриаксон концентрацией 300 мг/л. Разделительные свойства определены путем измерения оптической плотности растворов на спектрофотометре ПЭ-5400УФ

(ПромЭкоЛаб). По градуировочной кривой вычислялись концентрации модельных задерживаемых веществ, красителей в питающем растворе и пермеате, после чего рассчитывался коэффициент задержания  $R$  (%), используемый для оценки разделительных свойств, по формуле:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_{f0}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $C_{f0}$  и  $C_p$  – концентрация растворенного

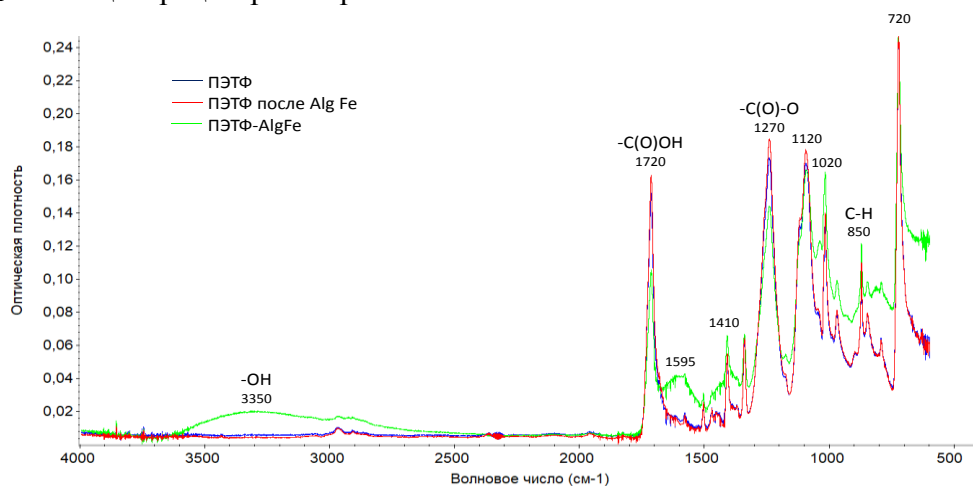


Рис. 2

На рис. 2 показано, что спектр исходного ПЭТФ и после нанесения и механического снятия слоя альгината является неизменным в сравнении с образцом AlgFe, для которого наблюдаются характерные спектральные признаки альгината. Так, для образца AlgFe характерно наличие плато в области  $3350 \text{ см}^{-1}$ , которое связано с образованием водородных связей между карбоксильными группами  $-\text{OH}$  и катионами металлов [57]. Полоса в области  $1595 \text{ см}^{-1}$  соответствует антисимметричным колебаниям связи  $\text{C}=\text{O}$  в карбоксилат-ионах. Для всех образцов детектируются спектральные признаки ПЭТФ:  $1720 \text{ см}^{-1}$  – карбонильная связь,  $1410 \text{ см}^{-1}$  – скелетные связи в ароматическом кольце,  $1270 \text{ см}^{-1}$  –  $\text{C}(\text{O})-\text{O}$  связь эфирной группы,  $1175, 1120, 1020 \text{ см}^{-1}$  – полосы в области скелетного кольца, соответствующие 1,4-замещению,  $850 \text{ см}^{-1}$  – деформационные колебания  $\text{C}-\text{H}$  двух соседних связанных атомов водорода в ароматическом кольце,

вещества в питающем потоке и пермеате соответственно.

Концентрацию модельного красителя Remazol Brilliant Blue R определяли при длине волны  $\lambda=592 \text{ нм}$ , антибиотика цефтриаксон –  $\lambda=370 \text{ нм}$ .

#### Результаты и обсуждения

Характер взаимодействия между нетканым полотном ПЭТФ и модификатором определяли с использованием ИК-спектроскопии (рис. 2).

$730 \text{ см}^{-1}$  – неплоская деформация двух карбонильных заместителей ароматического кольца. ИК-спектры свидетельствуют о том, что между ПЭТФ и модификатором не происходит химического взаимодействия.

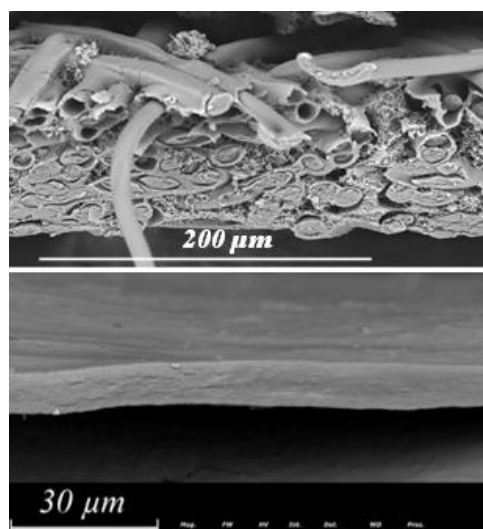


Рис. 3



Таким образом, мембранный фильтр представляет собой двухслойную систему, соединенную за счет физических взаимодействий. Толщина слоя модификатора при этом составляет примерно 15 мкм (рис. 3 – СЭМ фотография исходного ПЭТФ (сверху) и слоя модификатора CaAlg, снятого с поверхности ПЭТФ (снизу)).

Водные стоки обычно обладают сложным составом, включающим в себя органические вещества и нефтепродукты, а потому для мембранных фильтров важны не только высокие проницаемость и селективность, но и химическая устойчивость к органическим растворителям, а также устойчивость к загрязнениям. Сорбционные эксперименты показали, что как сам ПЭТФ, так и его модификаторы, сшитые альгинаты, являются устойчивыми к органическим растворителям (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

	ПЭТФ	CaAlg	AlAlg	FeAlg	CuAlg
МП	0,23	0,04	0,07	0,08	0,05
ДМФ	0,33	0,02	0,13	0,18	0,08
Этанол	0,28	0	0	0	0

Представленные в табл. 2 сорбционные данные свидетельствуют о том, что ПЭТФ и его модификаторы не подвергаются растворению в среде чистых органических растворителей. Сорбция ПЭТФ составляет 0,23 – 0,28 – 0,33 г/г для растворителей МП – этанол – ДМФ соответственно. Сорбция модификаторов, сшитых альгинатов, сильно зависит от сшивающего катиона. Наиболее близкие к ПЭТФ сорбционные характеристики имеет альгинат железа. Так, сорбция FeAlg по ДМФ составляет 0,18 г/г в сравнении с 0,33 для ПЭТФ. Минимальными сорбционными характеристиками обладает альгинат кальция, сорбция которого для ряда растворителей МП – этанол – ДМФ составляет 0,04 – 0 – 0,02 г/г. Учитывая тот факт, что предназначение разрабатываемых мембранных фильтров заключается в водной нанофильтрации, важно отметить не столько конкретные значения сорбции, сколько устойчивость полотен в органических средах. ПЭТФ и его модификаторы не растворяются даже в чистых растворителях, в том

числе в полярных апротонных (МП и ДМФ), которые часто считаются агрессивными растворителями по отношению к полимерам. Это значит, что при фильтрации водных стоков, содержащих органические растворители в качестве примесей, не произойдет разрушения и повреждения мембранных фильтров вне зависимости от концентрации органических компонентов.

Известно, что увеличение гидрофильности мембран способствует повышению их устойчивости к загрязнениям в процессах фильтрации водных растворов [58]. Данный эффект достигается за счет образования на поверхности мембраны плотного гидратного слоя, уменьшающего прямой контакт и, как следствие, адгезию загрязняющих веществ на полимере [59, 60]. В табл. 3 показано, что модификация ПЭТФ сшитыми альгинатами в большинстве случаев снижает гидрофильность фильтрующего полотна в сравнении с немодифицированным полотном ПЭТФ.

Т а б л и ц а 3

	ПЭТФ	ПЭТФ- CaAlg	ПЭТФ- AlAlg	ПЭТФ- FeAlg	ПЭТФ- CuAlg
θ °	67,6	35,6	59,0	79,0	42,6

Нанесение большинства сшитых альгинатов снижает контактный угол смачивания мембранных фильтров водой по сравнению с чистым ПЭТФ. Контактный угол смачивания водой чистого ПЭТФ составляет 67,5°. Нанесение альгинатов снижает угол вплоть до 35,6°, что характерно для модификации альгинатом кальция. Так, модификация ПЭТФ альгинатами имеет преимущество, заключающееся в гидрофилизации. Следовательно, можно ожидать от модифицированных волокнистых мембранных фильтров повышенной устойчивости к загрязнениям [61], что подтверждается экспериментальными данными (рис. 4).

Капли хлороформа на поверхность мембран нанесены из шприца в подводном слое для оценки склонности к загрязнению маслами. На рис. 4 видно, что по поверхности ПЭТФ капля хлороформа растекается. На поверхности модифицированной мембраны ПЭТФ-FeAlg капли имеют угол

смачивания, превышающий 90 градусов. Это свидетельствует о маслоустойчивости модифицированных мембранных фильтров. Таким образом, модифицированные ПЭТФ мембранные фильтры имеют хорошие перспективы для очистки реальных сложных стоков.

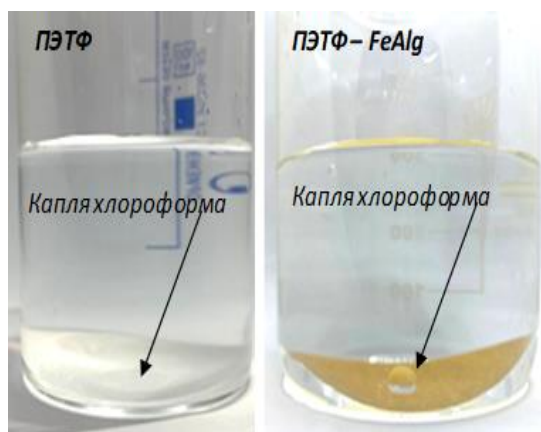


Рис. 4

Фильтрационные исследования показывают, что чистый ПЭТФ имеет более высокую проницаемость, что обусловлено более низким сопротивлением потоку растворителя (рис. 5).

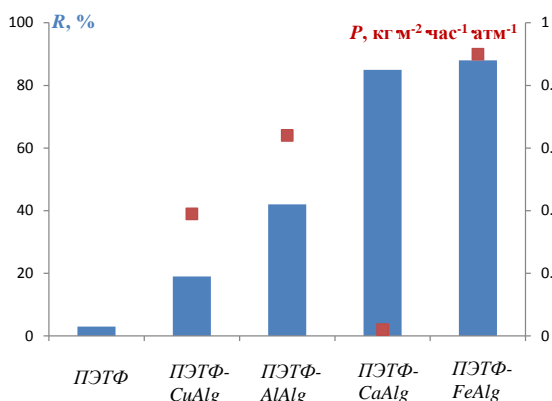


Рис. 5

Проницаемость ПЭТФ составляет  $1,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{атм}^{-1}$ , что более чем в два раза больше, чем у самого проницаемого модифицированного мембранного фильтра ПЭТФ-FeAlg ( $P = 0,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{атм}^{-1}$ ). Однако из-за своей крупной пористости, обусловленной волокнистой структурой волокна, ПЭТФ не способен хорошо задерживать

низкомолекулярные вещества, и задерживание модельного красителя Remazol Brilliant Blue R составляет всего 13% (рис. 6).

Модификация ПЭТФ шитыми альгинатами хоть и снижает его проницаемость, зато позволяет повысить коэффициенты задерживания модельного красителя Remazol Brilliant Blue R. Как показывают экспериментальные данные, большую роль в итоговой селективности играет шивающий металл. Так, при изменении шивающего катиона в ряду Cu-Al-Ca-Fe коэффициенты задерживания растут от 19 до 88%. В исследованном ряду оптимальным мембранным фильтром при очистке воды от загрязняющих веществ с молекулярной массой, примерно равной  $620 \text{ г/моль}$ , является ПЭТФ-FeAlg. При модификации полиэтилентерефталата альгинатом железа (III) получается мембранный фильтр, обладающий среди всех прочих ПЭТФ-MeAlg максимальной проницаемостью, равной  $P=0,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{атм}^{-1}$ , а также высокой селективностью  $R=88\%$ .

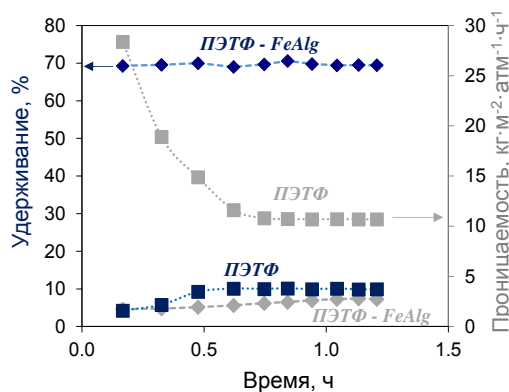


Рис. 6

Сравнение фильтрующей способности модифицированного и исходного полотна ПЭТФ показало, что модификация альгинатом железа приводит к увеличению задерживающей способности мембранного фильтра на порядок: с 6,9% до 69,9% для ПЭТФ и ПЭТФ-FeAlg. Проницаемость при этом закономерно снижается, однако остается на достаточно высоком уровне: с  $10,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{атм}^{-1}$  до  $3,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{атм}^{-1}$  для ПЭТФ и ПЭТФ-FeAlg. Такие характеристики полученного фильтра демонстрируют высокий потенциал его применения

для выделения как красителей, так и антибиотиков из водных сред.

## ВЫВОДЫ

В данной работе разработан подход к модификации нетканого полотна ПЭТФ природным полимером альгинатом натрия с последующей сшивкой солями металлов. Продемонстрирована устойчивость полотна ПЭТФ к органическим растворителям, в том числе к апротонным полярным растворителям МП и ДМФ. Показано, что альгинаты повышают гидрофильность ПЭТФ, что подтверждается снижением контактного угла смачивания для большинства модифицированных образцов. Также продемонстрирована на примере хлороформа маслостойчивость модифицированных мембранных фильтров. Все это демонстрирует высокий потенциал фильтров к разделению реальных промышленных стоков сложного состава. При исследовании фильтрующей способности полотен впервые показано, что на проницаемость и селективность разработанных мембранных фильтров большое влияние оказывает сшивающий катион модификатора. Так, в ряду мембранных фильтров, сшитых  $\text{Cu}^{2+}$  -  $\text{Al}^{3+}$  -  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Fe}^{3+}$ , селективность по модельному красителю Remazol Brilliant Blue R возрастает от 18 до 88%. При этом проницаемость характеризуется значениями  $0,39 - 0,64 - 0,02 - 0,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$  соответственно. Сравнительный анализ фильтрующей способности исходного полотна ПЭТФ и модифицированного ПЭТФ-FeAlg продемонстрировал высокую эффективность разработанного фильтра при выделении антибиотика цефтриаксона натрия из воды. Так, ПЭТФ-FeAlg характеризуется на порядок большей задерживающей способностью при сопоставимой проницаемости. Таким образом, продемонстрирован высокий потенциал разработанных фильтрующих полотен для задачи очистки сточных вод от красителей и антибиотиков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евлантьев С.С., Войтюк А.А., Сахарова Н.А. Исследование методов очистки сточных вод тек-

стильного производства от красителей // Научный потенциал регионов на службу модернизации. АИ-СИ. 2012, 2. С. 3.

2. Ануфриев В.Н. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности // Экология. 2015, 1(43). С. 87...96.

3. Абрамов О.В. и др. Очистка сточных вод текстильных предприятий гальванохимическим методом с использованием ультразвукового поля // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 3 (316). С. 107...110.

4. Алиева С. Обзор методов очистки сточных вод // Проблемы инженерной графики и профессионального образования. 2016, 39 (6). С. 67...70.

5. Palacio D. A. et al. Antibiotics removal using a chitosan-based polyelectrolyte in conjunction with ultrafiltration membranes // Chemosphere. 2020, 258. P. 127416.

6. Haenni M. et al. Environmental contamination in a high-income country (France) by antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes: Status and possible causes // Environment international. 2022, 159. P. 107047.

7. Berglund B. Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics // Infection ecology & epidemiology. 2015, 5 (1). P. 28564.

8. Zhang Y. et al. Impacts of farmland application of antibiotic-contaminated manures on the occurrence of antibiotic residues and antibiotic resistance genes in soil: A meta-analysis study // Chemosphere. 2022, 300. P. 134529.

9. Sodhi K. K. et al. Perspectives on the antibiotic contamination, resistance, metabolomics, and systemic remediation // SN Applied Sciences. 2021, 3. P. 1...25.

10. Larsson D.G.J. Antibiotics in the environment // Upsala journal of medical sciences. 2014, 119 (2). P. 108...112.

11. Martinez J.L. Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants // Environmental pollution. 2009, 157 (11). P. 2893...2902.

12. Anh H. Q. et al. Antibiotics in surface water of East and Southeast Asian countries: A focused review on contamination status, pollution sources, potential risks, and future perspectives // Science of The Total Environment. 2021, 764. P. 142865.

13. Liu X. et al. Antibiotics in the aquatic environments: a review of lakes, China // Science of the Total Environment. 2018, 627. P. 1195...1208.

14. Ana K.M.S., Madriaga J., Espino M.P.  $\beta$ -Lactam antibiotics and antibiotic resistance in Asian lakes and rivers: An overview of contamination, sources and detection methods // Environmental Pollution. 2021, 275. P. 116624.

15. Martinez J.L. Antibiotics and antibiotic resistance genes in natural environments // Science. 2008, 321 (5887). P. 365...367.

16. Laxminarayan R. et al. The Lancet Infectious Diseases Commission on antimicrobial resistance: 6 years later // The Lancet Infectious Diseases. 2020, 20 (4), P. 51...60.

17. Cars O. et al. Resetting the agenda for antibiotic resistance through a health systems perspective // The Lancet Global Health. 2021, 9 (7). P.e1022...e1027.

18. Singh R. et al. Antibiotic resistance in major rivers in the world: a systematic review on occurrence, emergence, and management strategies // Journal of Cleaner Production. 2019, 234. P. 1484...1505.
19. Suarez S., Lema J. M., Omil F. Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation // Bioresource technology. 2009, 100 (7). P. 2138...2146.
20. Choi K.J., Kim S.G., Kim S.H. Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration // Journal of hazardous materials. 2008, 151 (1), P. 38...43.
21. Di J. et al. Novel visible-light-driven CQDs/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> hybrid materials with enhanced photocatalytic activity toward organic pollutants degradation and mechanism insight // Applied Catalysis B: Environmental. 2015, 168. P. 51...61.
22. Sulbarán Rangel B.C. et al. Nanomaterial-esclulósicos para la adsorción de contaminante-semergentes // Tecnura. 2019, 23 (62). P. 13...20.
23. Meneau-Hernández R.I. et al. Adsorción de ciprofloxacina en materiales zeolíticos // Revista Cubana de Química. 2021, 33 (1). P. 167...190.
24. Naddeo V. et al. Fate of pharmaceuticals in contaminated urban wastewater effluent under ultrasonic irradiation // Water research. 2009, 43 (16). P. 4019...4027.
25. Huang B. et al. Treatment of pharmaceutical wastewater containing  $\beta$ -lactams antibiotics by a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) // Chemical Engineering Journal. 2018, 341. P. 238...247.
26. Prado N., Ochoa J., Amrane A. Biodegradation by activated sludge and toxicity of tetracycline into a semi-industrial membrane bioreactor // Bioresource technology. 2009, 100 (15). P. 3769...3774.
27. Li B., Zhang T. Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process // Environmental science & technology. 2010, 44 (9). P. 3468...3473.
28. Joss A. et al. Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment // Water research. 2005, 39 (14). P. 3139...3152.
29. Yang S. F. et al. Sorption and biodegradation of sulfonamide antibiotics by activated sludge: experimental assessment using batch data obtained under aerobic conditions // Water research. 2011, 45 (11). P. 3389...3397.
30. Абдуова А.А. и др. Анализ современного состояния вопроса исследования промышленного применения напорных гидроциклонов в области очистки сточных вод легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. 3(363). С. 227...231.
31. Нотайоонфал М., Mehrnia M.R. Amoxicillin separation from pharmaceutical solution by pH sensitive nanofiltration membranes // Separation and Purification Technology. 2014, 130. P. 74...83.
32. Осадчий Ю.П., Блиничев В.Н. Баромембранная очистка сточных вод, содержащих пигменты и кислотные красители // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2007. 5(301). С. 64...66.
33. Bojaran M., Akbari A., Yunessnialehi A. Novel ultrafiltration membranes with the least fouling properties for the treatment of veterinary antibiotics in the pharmaceutical wastewater // Polymers for Advanced Technologies. 2019, 30 (7). P. 1716...1723.
34. Ревенок А.О., Николаев А.В., Керсновская А.Ю. Оценка растворимости отходов полиэтилентерефталата в органических растворителях // Наука – шаг в будущее: тезисы докладов XV студ. науч.-практ. конф. факультета "Технология органических веществ", Минск, 1-2 декабря 2021 г. Минск: БГТУ, 2021, С. 20.
35. Barnard E., Arias J.J.R., Thielemans W. Chemolytic depolymerisation of PET: a review // Green Chemistry. 2021, 23 (11). P. 3765...3789.
36. Веснин Р.Л., Алапыкин А.А., Вохмянин М.А. Технология утилизации отходов полиэтилентерефталата с получением амида терефталевой кислоты // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2020, 63 (2). С. 99...104.
37. Харичкин А.С., Грехнева Е.В., Чуйкова С.В. Влияние низкомолекулярных спиртов на гидролиз полиэтилентерефталата // Auditorium. 2015, 1 (5). С. 13...17.
38. Kamrani H., Nosrati A. Fabrication of nanofiber filtration membranes using polyethylene terephthalate (PET): A review // J. Membr. Sci. Technol. 2018, 8. P. 1000183.
39. Xiang J. et al. Study on Low Thermal Conductivity of PVDF@ SiAG/PET Membranes for Direct Contact Membrane Distillation Application // Membranes. 2023, 13 (9). P. 773.
40. Bonfim D.P.F. et al. A sustainable recycling alternative: Electrospun PET-membranes for air nanofiltration // Polymers. 2021, 13 (7). P. 1166.
41. Lyu C. et al. Electrospinning of nanofibrous membrane and its applications in air filtration: A review // Nanomaterials. 2021, 11 (6). P. 1501.
42. Zander N. E., Gillan M., Sweetser D. Recycled PET nanofibers for water filtration applications // Materials. 2016, 9 (4). P. 247.
43. Fahimirad S., Fahimirad Z., Sillanpää M. Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers // Science of the Total Environment. 2021, 751. P. 141673.
44. Korolkov I.V. et al. Preparation of hydrophobic PET track-etched membranes for separation of oil-water emulsion // Membranes. 2021, 11 (8). P. 637.
45. Xiong Q. et al. Waste PET derived Janus fibrous membrane for efficient oil/water emulsions separation // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022, 10 (5). P. 108459.
46. Chen H. et al. Waste to treasure: A superwetting fiber membrane from waste PET plastic for water-in-oil emulsion separation // Journal of Cleaner Production. 2023, 396. P. 136502.
47. Korolkov I.V. et al. Protein fouling of modified microporous PET track-etched membranes // Radiation Physics and Chemistry. 2018, 151. P. 141...148.
48. Khashij M. et al. Recycled PET/metal oxides nanocomposite membrane for treatment of real industrial effluents: Membrane fabrication, stability, antifouling behavior, and process modeling and optimization // Journal of Molecular Liquids. 2022, 364. P. 119966.

49. Khorram M., Mousavi A., Mehranbod N. Chromium removal using adsorptive membranes composed of electrospun plasma-treated functionalized polyethylene terephthalate (PET) with chitosan // Journal of environmental chemical engineering. 2017, 5 (3). P. 2366...2377.

50. Ali B.T.I. et al. Utilization of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste as membrane with several modifications for the removal of chromium ions in wastewater // Materials Today: Proceedings. 2023, 74. P. 433...437.

51. Ehrenhofer A., Wallmersperger T. Deformation Behavior of Hydrogel-layered PET Membranes // DE-MEASS VIII. P. 14.

52. Anokhina T.S. et al. Cellulose composite membranes for nanofiltration of aprotic solvents // Petroleum Chemistry. 2016, 56. P. 1085...1092.

53. Pawar S.N., Edgar K.J. Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications // Biomaterials. 2012, 33 (11). P. 3279-3305.

54. Иванов А.Н., Пестовская Е.А., Занозин С.В. Исследование сорбции паров воды и токсичных газов волокнистыми целлюлозными хемосорбентами // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №4 (340). С. 162...166.

55. Kaklamani G. et al. Mechanical properties of alginate hydrogels manufactured using external gelation // Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2014, 36. P. 135...142.

56. Metecan A., Cihanoğlu A., Altinkaya S.A. A positively charged loose nanofiltration membrane fabricated through complexing of alginate and polyethyleneimine with metal ions on the polyamideimide support for dye desalination // Chemical Engineering Journal. 2021, 416. P. 128946.

57. Aburabie J.H., Puspasari T., Peinemann K.V. Alginate-based membranes: Paving the way for green organic solvent nanofiltration // Journal of Membrane Science. 2020, 596. P. 117615.

58. Dmitrieva E. S. et al. Crosslinked Sodium Alginate as a Material for Nanofiltration Protonic and Aprotic Solvents // Key Engineering Materials. 2021, 899, P. 745...751.

59. Табакаева О.В., Табакаев А.В. Биологически активные вещества потенциально промышленных бурых водорослей Дальневосточного региона // Вопросы питания. 2016, 85 (3). С. 126...132.

60. Daemi H., Barikani M. Synthesis and characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopolymannuronate salt and its calcium nanoparticles // Scientia Iranica. 2012, 19 (6). P. 2023...2028.

61. Li F. et al. Flexible, durable, and unconditioned superoleophobic/superhydrophilic surfaces for controllable transport and oil-water separation // Advanced Functional Materials. 2018, 28 (20). P. 1706867.

62. Gao S. J. et al. Superwetting polymer-decorated SWCNT composite ultrathin films for ultrafast separation of oil-in-water nanoemulsions // Journal of Materials Chemistry A. 2015, 3 (6). P. 2895...2902.

63. Wang Z. et al. Mussel-inspired hybrid coatings that transform membrane hydrophobicity into high hydrophilicity and underwater superoleophobicity for oil-in-water emulsion separation // ACS Applied Materials & Interfaces. 2015, 7 (18). P. 9534...9545.

64. Апель П.Ю., Велизаров С., Волков А.В., Елисеева Т.В., Никоненко В.В., Паршина А.В., Письменская Н.Д., Попов К.И., Ярославцев А.Б. Фаулинг и деградация мембран в мембранных процессах // Мембраны и мембранные технологии. 2022, 12 (2). С. 81...106.

## REFERENCES

1. Evlant'ev S.S., Vojtyuk A.A., Saharova N.A. Issledovanie metodov oчитки stochnyh vod tekstil'nogo proizvodstva ot krasitelej // Nauchnyj potencial regionov na sluzhbu modernizacii. AISI. 2012, 2. P. 3.

2. Anufriev V.N. Oчитка stochnyh vod predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti // Ekologiya. 2015, 1(43). P. 87...96

3. Abramov O.V. i dr. Oчитка stochnyh vod tekstil'nyh predpriyatij gal'vanohimicheskim metodom s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo polya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2009, 3. P. 316

4. Alieva S. Obzor metodov oчитки stochnyh vod // Problemy inzhenernoj grafiki i professional'nogo obrazovaniya. 2016, 39 (6). P. 67...70.

5. Palacio D.A. et al. Antibiotics removal using a chitosan-based polyelectrolyte in conjunction with ultrafiltration membranes // Chemosphere. 2020, 258. P. 127416.

6. Haenni M. et al. Environmental contamination in a high-income country (France) by antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes: Status and possible causes // Environment international. 2022, 159. P. 107047.

7. Berglund B. Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics // Infection ecology & epidemiology. 2015, 5 (1). P. 28564.

8. Zhang Y. et al. Impacts of farmland application of antibiotic-contaminated manures on the occurrence of antibiotic residues and antibiotic resistance genes in soil: A meta-analysis study // Chemosphere. 2022, 300. P. 134529.

9. Sodhi K.K. et al. Perspectives on the antibiotic contamination, resistance, metabolomics, and systemic remediation // SN Applied Sciences. 2021, 3. P. 1...25.

10. Larsson D.G.J. Antibiotics in the environment // Upsala journal of medical sciences. 2014, 119 (2). P. 108...112.

11. Martinez J.L. Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants // Environmental pollution. 2009, 157 (11). P. 2893...2902.

12. Anh H. Q. et al. Antibiotics in surface water of East and Southeast Asian countries: A focused review on contamination status, pollution sources, potential risks, and future perspectives // Science of The Total Environment. 2021, 764. P. 142865.

13. Liu X. et al. Antibiotics in the aquatic environments: a review of lakes, China // Science of the Total Environment. 2018, 627. P. 1195...1208.

14. Ana K.M.S., Madriaga J., Espino M.P.  $\beta$ -Lactam antibiotics and antibiotic resistance in Asian lakes and rivers: An overview of contamination,

sources and detection methods // *Environmental Pollution*. 2021, 275. P. 116624.

15. *Martínez J.L.* Antibiotics and antibiotic resistance genes in natural environments // *Science*. 2008, 321 (5887). P. 365...367.

16. *Laxminarayan R. et al.* The Lancet Infectious Diseases Commission on antimicrobial resistance: 6 years later // *The Lancet Infectious Diseases*. 2020, 20 (4), P. 51...60.

17. *Cars O. et al.* Resetting the agenda for antibiotic resistance through a health systems perspective // *The Lancet Global Health*. 2021, 9 (7). P. e1022...e1027.

18. *Singh R. et al.* Antibiotic resistance in major rivers in the world: a systematic review on occurrence, emergence, and management strategies // *Journal of Cleaner Production*. 2019, 234. P. 1484...1505.

19. *Suarez S., Lema J. M., Omil F.* Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation // *Bioresource technology*. 2009, 100 (7). P. 2138...2146.

20. *Choi K.J., Kim S.G., Kim S.H.* Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration // *Journal of hazardous materials*. 2008, 151 (1). P. 38...43.

21. *Di J. et al.* Novel visible-light-driven CQDs/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> hybrid materials with enhanced photocatalytic activity toward organic pollutants degradation and mechanism insight // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015, 168. P. 51...61.

22. *Sulbarán Rangel B.C. et al.* Nanomaterial-escelulósicos para la adsorción de contaminantes-emergentes // *Tecnura*. 2019, 23 (62). P. 13...20.

23. *Meneau-Hernández R.I. et al.* Adsorción de ciprofloxacina en materiales zeolíticos // *Revista Cubana de Química*. 2021, 33 (1). P. 167...190.

24. *Naddeo V. et al.* Fate of pharmaceuticals in contaminated urban wastewater effluent under ultrasonic irradiation // *Water research*. 2009, 43 (16). P. 4019...4027.

25. *Huang B. et al.* Treatment of pharmaceutical wastewater containing  $\beta$ -lactams antibiotics by a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) // *Chemical Engineering Journal*. 2018, 341. P. 238...247.

26. *Prado N., Ochoa J., Amrane A.* Biodegradation by activated sludge and toxicity of tetracycline into a semi-industrial membrane bioreactor // *Bioresource technology*. 2009, 100 (15). P. 3769...3774.

27. *Li B., Zhang T.* Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process // *Environmental science & technology*. 2010, 44 (9). P. 3468...3473.

28. *Joss A. et al.* Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment // *Water research*. 2005, 39 (14). P. 3139...3152.

29. *Yang S. F. et al.* Sorption and biodegradation of sulfonamide antibiotics by activated sludge: experimental assessment using batch data obtained under aerobic conditions // *Water research*. 2011, 45 (11). P. 3389...3397.

30. *Abduova A.A. et al.* Analysis of current state of research questions pressure hydrocyclones industrial applications in wastewater treatment of light industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya*

*Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2016, 3, P. 227...231.

31. *Homayoonfal M., Mehrnia M.R.* Amoxicillin separation from pharmaceutical solution by pH sensitive nanofiltration membranes // *Separation and Purification Technology*. 2014, 130. P. 74...83.

32. *Osadchij YU.P., Blinichev V.N.* Baromembranaya ochistka stochnykh vod, soderzhashchih pigmenty i kislotnye krasiteli // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2007, 5(301). P. 64...66.

33. *Bojaran M., Akbari A., Yunessnialehi A.* Novel ultrafiltration membranes with the least fouling properties for the treatment of veterinary antibiotics in the pharmaceutical wastewater // *Polymers for Advanced Technologies*. 2019, 30 (7), P. 1716...1723.

34. *Revenok A.O., Nikolaev A.V., Kersnovskaya A.YU.* Ocenka rastvorimosti otdodov poli-etilentereftalata v organicheskikh rastvoritelyah // *Nauka – shag v budushchee: tezisy dokladov XV studentcheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii fakul'teta "Tekhnologiya organicheskikh veshchestv"*, Minsk, 1-2 dekabrya 2021 g. Minsk: BGTU, 2021. P. 20.

35. *Barnard E., Arias J.J.R., Thielemans W.* Chemolytic depolymerisation of PET: a review // *Green Chemistry*. 2021, 23 (11). P. 3765...3789.

36. *Vesnin R.L., Alalykin A.A., Vohmyanin M.A.* Tekhnologiy autilizacii otdodov polietilen-tereftalata s polucheniem amida tereftalevoj kisloty // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Himiya i Himicheskaya Tekhnologiya*. 2020, 63 (2). P. 99...104.

37. *Harichkin A.S., Grekhnyova E.V., CHujkova S.V.* Vliyanie nizkomolekulyarnykh spirtov na gidroliz polietilentereftalata // *Auditorium*. 2015, 1 (5). P. 13...17.

38. *Kamrani H., Nosrati A.* Fabrication of nanofiber filtration membranes using polyethylene terephthalate (PET): A review // *J. Membr. Sci. Technol.* 2018, 8. P. 1000183.

39. *Xiang J. et al.* Study on Low Thermal-Conductivity of PVDF@ SiAG/PET Membranes for Direct Contact Membrane Distillation Application // *Membranes*. 2023, 13 (9). P. 773.

40. *Bonfim D.P.F. et al.* A sustainable recycling alternative: Electrospun PET-membranes for air nanofiltration // *Polymers*. 2021, 13 (7). P. 1166.

41. *Lyu C. et al.* Electrospinning of nanofibrous membrane and its applications in air filtration: A review // *Nanomaterials*. 2021, 11 (6). P. 1501.

42. *Zander N. E., Gillan M., Sweetser D.* Recycled PET nanofibers for water filtration applications // *Materials*. 2016, 9 (4). P. 247.

43. *Fahimirad S., Fahimirad Z., Sillanpää M.* Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers // *Science of the Total Environment*. 2021, 751. P. 141673.

44. *Korolkov I.V. et al.* Preparation of hydrophobic PET track-etched membranes for separation of oil-water emulsion // *Membranes*. 2021, 11 (8). P. 637.

45. *Xiong Q. et al.* Waste PET derived Janus fibrous membrane for efficient oil/water emulsions separation // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022, 10 (5). P. 108459.



46. *Chen H. et al.* Waste to treasure: A superwetting fiber membrane from waste PET plastic for water-in-oil emulsion separation // *Journal of Cleaner Production*. 2023, 396. P. 136502.
47. *Korolkov I.V. et al.* Protein fouling of modified microporous PET track-etched membranes // *Radiation Physics and Chemistry*. 2018, 151. P. 141...148.
48. *Khashij M. et al.* Recycled PET/metal oxides nanocomposite membrane for treatment of real industrial effluents: Membrane fabrication, stability, anti-fouling behavior, and process modeling and optimization // *Journal of Molecular Liquids*. 2022, 364. P. 119966.
49. *Khorram M., Mousavi A., Mehranbod N.* Chromium removal using adsorptive membranes composed of electrospun plasma-treated functionalized polyethylene terephthalate (PET) with chitosan // *Journal of environmental chemical engineering*. 2017, 5 (3). P. 2366...2377.
50. *Ali B.T.I. et al.* Utilization of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste as membrane with several modifications for the removal of chromium ions in wastewater // *Materials Today: Proceedings*. 2023, 74, P. 433...437.
51. *Ehrenhofer A., Wallmersperger T.* Deformation Behavior of Hydrogel-layered PET Membranes // *DEMEASS VIII*. P. 14.
52. *Anokhina T. S. et al.* Cellulose composite membranes for nanofiltration of aprotic solvents // *Petroleum Chemistry*. 2016, 56. P. 1085...1092.
53. *Pawar S.N., Edgar K J.* Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications // *Biomaterials*. 2012, 33 (11). P. 3279...3305.
54. *Ivanov A.N., Pestovskaya E.A., Zanozin S.V.* Research of sorption of water vapour and toxic gases by fibrous cellulose chemisorbents // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2012, 4 (340). P. 162...166
55. *Kaklamani G. et al.* Mechanical properties of alginate hydrogels manufactured using external gelation // *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2014, 36. P. 135...142.
56. *Metecan A., Cihanoğlu A., Altinkaya S.A.* A positively charged loose nanofiltration membrane fabricated through complexing of alginate and polyethyleneimine with metal ions on the polyamideimide support for dye desalination // *Chemical Engineering Journal*. 2021, 416. P. 128946.
57. *Aburabie J.H., Puspasari T., Peinemann K.V.* Alginate-based membranes: Paving the way for green organic solvent nanofiltration // *Journal of Membrane Science*. 2020, 596. P. 117615.
58. *Dmitrieva E. S. et al.* Crosslinked Sodium Alginate as a Material for Nanofiltration Protonic and Aprotic Solvents // *Key Engineering Materials*. 2021, 899. P. 745...751.
59. *Tabakaeva O.V., Tabakaev A.V.* Biologicheski aktivnye veshchestva potencial'no promyslovykh buryh vodoroslej Dal'nevostochnogo regiona // *Voprosy pitaniya*. 2016, 85 (3). P. 126...132.
60. *Daemi H., Barikani M.* Synthesis and characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopolymannuronate salt and its calcium nanoparticles // *Scientia Iranica*. 2012, 19 (6). P. 2023...2028.
61. *Li F. et al.* Flexible, durable, and unconditioned superoleophobic/superhydrophilic surfaces for controllable transport and oil-water separation // *Advanced Functional Materials*. 2018, 28 (20). P. 1706867.
62. *Gao S. J. et al.* Superwetting polymer-decorated SWCNT composite ultrathin films for ultrafast separation of oil-in-water nanoemulsions // *Journal of Materials Chemistry A*. 2015, 3 (6). P. 2895...2902.
63. *Wang Z. et al.* Mussel-inspired hybrid coatings that transform membrane hydrophobicity into high hydrophilicity and underwater superoleophobicity for oil-in-water emulsion separation // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2015, 7 (18). P. 9534...9545.
64. *Apel' P.YU., Velizarov S., Volkov A.V., Eliseeva T.V., Nikonenko V.V., Parshina A.V., Pis'menskaya N.D., Popov K.I., YAroslavcev A.B.* Fouling i degradaciya membran v membrannykh processah // *Membrany i membrannye tekhnologii*. 2022, 12 (2). P. 81...106.

Рекомендована лабораторией №18 полимерных мембран Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН. Поступила 20.11.23.



УДК 677.076.4

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_176

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СПАСАТЕЛЬНОГО КОНВЕРТА  
ДЛЯ НОВОРОЖДЕННЫХ****DEVELOPMENT OF RESCUE ENVELOPE DESIGN FOR NEWBORNS**

*М.С. ЛИСАНЕВИЧ<sup>1</sup>, В.В. ИВАНОВ<sup>2</sup>, Т.А. ВОЛОШИНА<sup>1</sup>,  
Ю.А. КОВАЛЕНКО<sup>1</sup>, О.Е. ГАВРИЛОВА<sup>1</sup>, Н.В. ТИХОНОВА<sup>1</sup>*

*M.S. LISANEVICH<sup>1</sup>, V.V. IVANOV<sup>2</sup>, T.A. VOLOSHINA<sup>1</sup>,  
Yu.A. KOVALENKO<sup>1</sup>, O.E. GAVRILOVA<sup>1</sup>, N.V. TIKHONOVA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
<sup>2</sup>ООО «Термопол»)

(<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University,  
<sup>2</sup>Thermopol LLC)

E-mail: lisanevichms@gmail.com; i-vlad@inbox.ru

*Огнестойкие эвакуационные конверты для новорожденных на основе нетканого материала «Холлофайбер® Софт НГ» (ООО «Термопол», г. Москва) обладают такими свойствами, как защита от холода для всех климатических поясов РФ, экологичность и гигиена с 1-м классом безопасности, а также защита от экстремального воздействия повышенных температур (воспламенения) с 3-м индексом нераспространения пламени. Проведенные исследования доказали сохранение свойств материала «Холлофайбер®» после радиационной стерилизации, что важно в условиях распространения инфекционных заболеваний. Еще одной особенностью изделия является возможность вторичной и многократной переработки (полирециклинг). В работе проанализированы габаритные размеры новорожденного, рассчитаны основные размеры спасательного конверта. Предложены способы раскроя конверта. Все конструкции разработанных конвертов являются одно- или двухдетальными, что позволяет предусмотреть малооперационную технологию сборки изделия в соответствии с условием однократного использования конверта по назначению.*

*Fire-resistant evacuation envelopes for newborns based on non-woven material "Hollofiber® Soft NG" (Moscow, LLC "Thermo-pol") have such properties as protection from the cold for all climatic zones of the Russian Federation, environmental friendliness and hygiene with 1st safety class, as well as protection against extreme exposure to elevated temperatures (ignition) with the 3rd flame non-proliferation index. Studies have been carried out proving the preservation of the properties of the*

*Hollo-Fiber® material after radiation sterilization, which is important in the conditions of the spread of infectious diseases. Another feature of the product is the possibility of secondary and multiple processing (polyrecycling). The paper analyzes the overall dimensions of the newborn, calculates the main dimensions of the rescue envelope. Methods for cutting the envelope are proposed. All designs of the developed envelopes are one- or two-piece, which makes it possible to provide for a low-operation technology for assembling the product in accordance with the condition of a single use of the envelope for its intended purpose.*

**Ключевые слова:** нетканые материалы, эвакуационный конверт для новорожденного.

**Keywords:** non-woven materials, evacuation envelope for a newborn.

### *Введение*

Для спасения новорожденных в чрезвычайных ситуациях используют спасательные сумки и камеры (реже эвакуационные фартуки и волокуши) [1-4]. Данные приспособления имеются в машинах служб спасения, но не всегда присутствуют в достаточном количестве в перинатальных центрах из-за высокой цены за единицу товара. В сумку ребенка кладут в обычных пеленках. При этом нужно учитывать тот факт, что в России достаточно продолжительное время сохраняется холодная погода. Таким образом, ребенок при перевозке в безопасное место может получить переохлаждение.

В настоящее время на кафедре медицинской инженерии ФГБОУ ВО «КНИТУ» под руководством доцента Лисаневич М.С. разработаны огнестойкие эвакуационные конверты для новорожденных на основе нетканого материала «Холлофайбер® Софт НГ» (ООО «Термопол», г. Москва) [5, 6]. ООО «Термопол» производит широкий ассортимент нетканых материалов различного назначения [7-11]. Изделия обладают такими свойствами, как защита от холода для всех климатических поясов РФ, экологичность и гигиена с 1-м классом безопасности, а также защита от экстремального воздействия повышенных температур (воспламенения) с 3-м индексом нераспространения пламени.

Актуальность разработки и тестирования изделия огнестойкого конверта для новорожденного продиктована несколькими

факторами: отсутствием подобных продуктов на рынке РФ, многофункциональностью и универсальностью изделия [9].

Все одноразовые медицинские изделия чаще всего подвергаются радиационной стерилизации, которая существенным образом влияет на характеристики нетканых материалов. Однако проведенные ранее исследования доказали сохранение свойств материала «Холлофайбер®» после радиационной стерилизации, что важно в условиях распространения инфекционных заболеваний [12]. Еще одной особенностью изделия является возможность вторичной и многократной переработки (полирециклинг).

Для удобства конверт должен легко распеленываться, что важно в чрезвычайных ситуациях.

### *Экспериментальная часть*

В качестве объектов исследований выбраны следующие нетканые материалы:

- Холлофайбер® Софт НГ поверхностной плотностью 150 г/м<sup>2</sup> производства ООО «Термопол»;

- спанмелт поверхностной плотностью 35 г/м<sup>2</sup> производства ООО «Avgol, Ltd».

Расположение слоев в конверте представлено следующим образом:

- 1 и 3 слои – спанмелт, обеспечивающий защиту от миграции волокон Холлофайбер® Софт НГ;

- 2 слой – Холлофайбер® Софт НГ, обеспечивающий огнестойкость конверта.

Изучены следующие потребительские характеристики пакета материалов, входящих в состав конверта:

- огнестойкость по ГОСТ ISO 15025-2019;
- миграция волокон утеплителя по ГОСТ Р 12.4.303-2016;
- воздухопроницаемость по ГОСТ Р 53226-2008;
- разрывная нагрузка при удлинении по ГОСТ Р 12.4.287-2013.

*Основная часть*

Проведены испытания потребительских характеристик пакета материалов для спасательного конверта (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Наименование характеристики		Значение
Огнестойкость, с:		0 0 Не доходит до верха кромки Отсутствие отверстия
- остаточное горение		
- остаточное тление		
- граница пламени		
- наличие отверстия		
Миграция волокон, %		0
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /см <sup>2</sup> ·с		119,94 ± 0,66
Разрывная нагрузка при удлинении, Н	Продольная сторона	92,82 ± 3,74
	Поперечная сторона	117,50 ± 26,37
Паропроницаемость, г		91,23 ± 63,16

Показатель воздухопроницаемости пакета материалов соответствует требованиям ГОСТ 32119-2013 «Изделия для новорожденных и детей ясельной группы. Общие технические условия». В ходе испытаний на огнестойкость, прочность при удлинении и паропроницаемость данная комбинация нетканых материалов отлично себя зарекомендовала, показав высокий результат.

Показатель миграции волокон утеплителя для спасательного конверта составляет 0 шт.

Разработка конструкции спасательного конверта для новорожденного основывалась на нескольких требованиях:

- изделие должно легко распеленываться;
- должна быть предусмотрена малооперационная технология сборки изделия.

Расчет параметров конверта был основан на габаритных размерах тела новорож-

денного с учетом его естественного положения лежа (рис. 1).

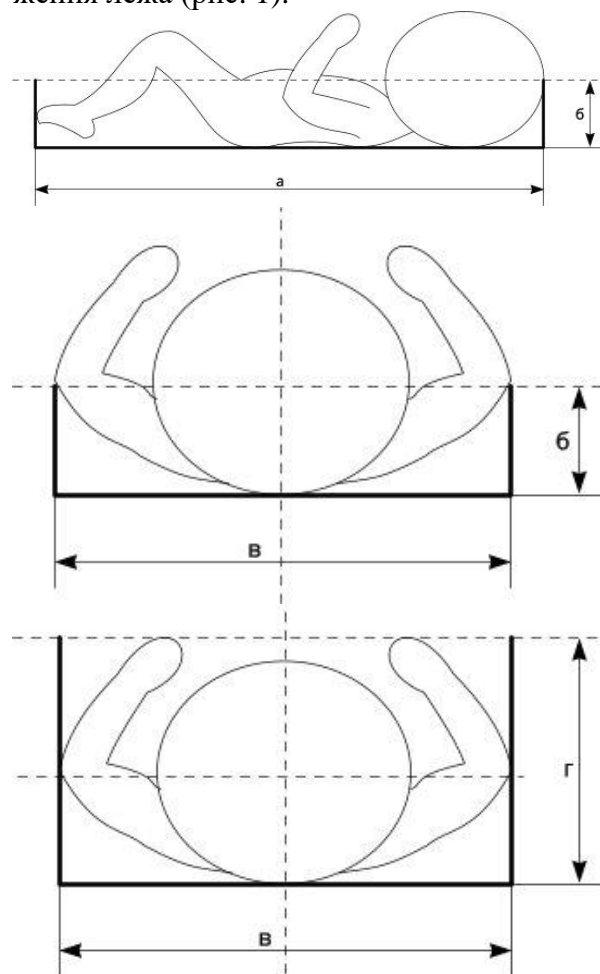


Рис. 1

Из продольных измерений выделена длина тела как наиболее габаритный размер, имеющий среднестатистические значения. В среднем рост новорожденных колеблется от 48 до 60 см, что является минимально необходимым размером лежачего места для новорожденного. Для недоношенных детей в среднем рост составляет от 36 до 48 см. Однако к такому параметру, как длина тела ребенка, необходимо добавить длину участков огибания тела для заворачивания. Длина конверта будет рассчитываться по формуле:

$$L = P + d_{\text{головой}} \text{ (или } d_{\text{живота}}, \text{ если он превышает } d_{\text{головой}}) + P_{\text{общ}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{общ}}$  – прибавка на свободу дыхания для создания воздушного зазора между лицом новорожденного и конвертом плюс

прибавка на толщину пакета материалов, т. е.

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{с+возд}} + P_{\text{п}}. \quad (2)$$

Пакет складывается из двух слоев спанмелта (0,01 см x 2 = 0,02 см), одного слоя Холлофайбера СОФТ НГ (1 см).

$$P_{\text{с+возд}} = 1 \text{ см (половина прибавки к обхвату груди)}, \quad (3)$$

$$P_{\text{п}} = 3,14 \times (1 + 0,02) = 3,2 \text{ см}, \quad (4)$$

$$P_{\text{общ}} = 1 + 3,2 = 4,2 \text{ см}. \quad (5)$$

Обхват головы новорожденных в среднем равен 38 см, у недоношенных детей в среднем 30 см.

Для новорожденных детей

$$d_{\text{головой}} = \text{обхват головы} / 3,14 = 12,1 \text{ см}. \quad (6)$$

Для недоношенных детей

$$d_{\text{головой}} = \text{обхват головы} / 3,14 = 9,5 \text{ см}. \quad (7)$$

Таким образом, суммируя обозначенные параметры, по формуле (1) получаем, что длина лежачего места:

- для новорожденного

$$L = 60 + 12,1 + 4,2 = 76,3 \text{ см};$$

- для недоношенных детей

$$L = 48 + 9,5 + 4,2 = 61,7 \text{ см}.$$

Среди наиболее крупных поперечных обхватов можно выделить обхват головы, обхват груди и обхват живота. Как правило, по новорожденным существует статистика только по обхватам головы. Наиболее крупным поперечным диаметром можно считать диаметр плеч младенца. Однако положение тела младенца существенно различается в зависимости от особенностей конкретного ребенка. При расчете ширины лежачего места младенца необходимо учитывать положение верхних и нижних конечностей новорожденного, которое существенно увеличивает широтные размеры ребенка в естественном положении при отсутствии пеленания:

$$Ш = Ш_{\text{размаха рук (или Ш_{\text{разведения ног, если она больше)}}} + d_{\text{головой (или } d_{\text{живота, если он превышает } d_{\text{головой}})} + P_{\text{общ}}. \quad (8)$$

Анализ фотографий новорожденных детей позволил выявить среднее соотношение диаметра головы и «размаха» рук и ног. «Размах» рук новорожденных в среднем больше диаметра головы вдвое. Таким образом, он равен 24,2 см. Максимальное разведение ног в тазобедренных суставах дает значение, в 2,5 раза большее, чем диаметр головы, таким образом, составляет 30,2 см.

Для недоношенных детей «размах» рук равен 19 см, разведение ног в тазобедренных суставах – 23,7 см.

Таким образом, суммируя обозначенные параметры, по формуле (8) получаем, что ширина лежачего места для новорожденного:

$$Ш = 30,2 + 12,1 + 4,2 = 46,5 \text{ см}.$$

Ширина лежачего места для недоношенных детей:

$$Ш = 23,7 + 9,5 + 4,2 = 37,4 \text{ см}.$$

Полученные размеры лежачего места ребенка в конверте (прямоугольник с размерами 76,3x46,5 см) учитывают комфортное положение ребенка, его относительно быстрое перемещение в конверте, необходимый воздушный зазор.

Однако данные размеры, безусловно, требуют дополнительной апробации в условиях, максимально приближенных к условиям использования изделия.

Параметр А (для конструкции 1) конверта для новорожденных детей составляет 86,7 см, для недоношенных детей – 70 см.

Исходя из расчета размеров лежачего места ребенка рассчитываются размеры детали конверта. Все конструкции разработанных конвертов являются одно- или двухдетальными, что позволяет предусмотреть малооперационную технологию сборки изделия в соответствии с условием

однократного использования конверта по назначению.

На рис. 2 нижняя и боковые части конверта предполагают стачивание под углом 90 градусов, концы боковых частей,

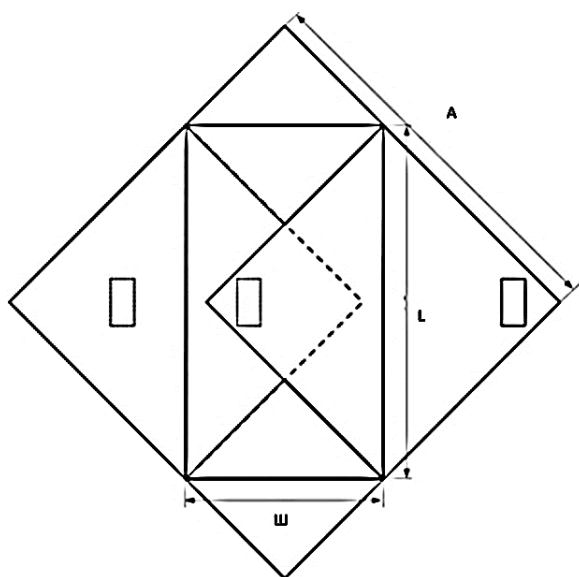


Рис. 2

накладывающиеся друг на друга, имеют каждый по одной контактной части ленты-велькро для оперативного застегивания. Верхний угол конверта запахивается на голову ребенка без жесткой фиксации.

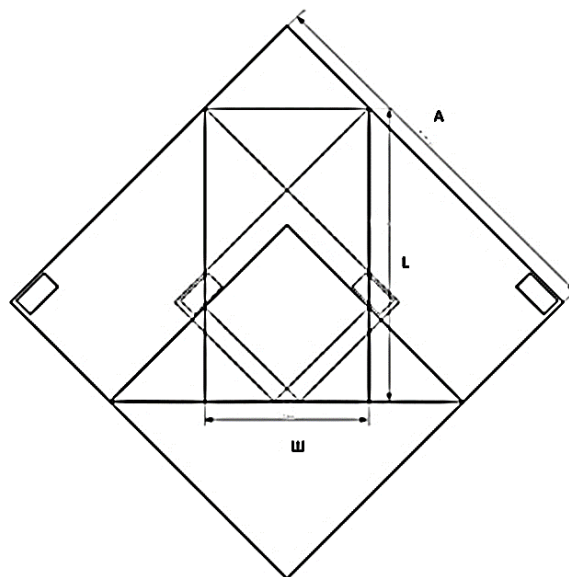


Рис. 3

На рис. 3 нижняя и боковые части конверта предполагают последовательное наложение друг на друга. Здесь может быть предусмотрено как частичное стачивание, так и поочередное застегивание левого и правого угла на ленты-велькро, т. е. одна застежка соединяет нижний и левый угол, а вторая – левый и правый угол. Может быть предусмотрено только одно застегивание верхнего угла для окончательной фиксации. Верхний угол конверта запахивается на голову ребенка без жесткой фиксации.

Параметр А (для конструкции 2) конверта для новорожденных детей составляет 98,5 см, для недоношенных детей – 79,2 см.

На рис. 4 нижняя часть конструкции предполагает стачивание трех слоев: центральной, левой и правой. Левая и правая части накладываются друг на друга последовательно и могут иметь застежку на ленту-велькро по краю верхнего слоя конверта. Верхний угол конверта запахивается на голову ребенка без жесткой фиксации.

Параметр А (для конструкции 3) конверта для новорожденных детей составля-

ет 139,5 см, для недоношенных детей – 112,5 см.

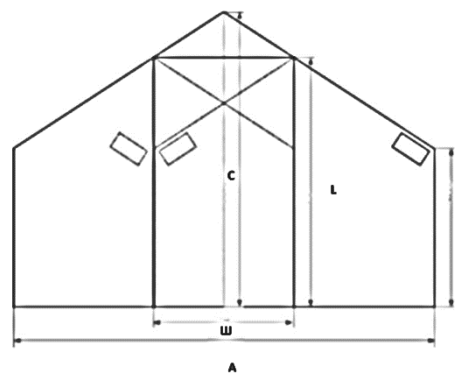


Рис. 4

Параметр В (для конструкции 3) конверта для новорожденных детей составляет 52 см, для недоношенных детей – 42,9 см.

Параметр С (для конструкции 3) конверта для новорожденных детей составляет 65,6 см, для недоношенных детей – 56,5 см.

В дальнейших исследованиях планируется отдать конверты на тестирование в родильные дома в трех вариантах и выбрать наиболее оптимальный по удобству использования.

## ВЫВОДЫ

В ходе испытаний на огнестойкость, прочность при удлинении и паропроницаемость данная комбинация нетканых материалов отлично себя зарекомендовала, показав высокий результат.

Показатель воздухопроницаемости пакета материалов соответствует требованиям ГОСТ 32119-2013 «Изделия для новорожденных и детей ясельной группы. Общие технические условия».

Показатель миграции волокон утеплителя для выбранного пакета материалов составляет 0 шт.

Разработаны конструкции спасательного конверта для новорожденных с малооперационной технологией сборки изделия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимкова А.А., Оникиенко В.В., Лисаневич М.С. Обзор средств для эвакуации новорожденных при пожарах и чрезвычайных ситуациях в зданиях перинатальных центров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 4. С. 84...90.

2. Shi Y. Disaster response plans in the neonatal intensive care unit // Chinese journal of contemporary pediatrics. 2017. 19(10): 1033-1037. – doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2017.10.001. PMID: 29046196.

3. Ghazanfari MJ, Karkhah S, Yaghoubi T. Emergency Evacuation Related Challenges in Specialized Hospitals for Children and Neonates: A Narrative Review. Journal of Pediatrics Review. 2022. – DOI:10.32598/jpr.10.2.1037.1

4. Liu H., Chen H., Hong R., Liu H., You W. Mapping knowledge structure and research trends of emergency evacuation studies. Saf Sci. 2020; 121:348-61. – DOI:10.1016/j.ssci.2019.09.020

5. Гегельский О.П., Иванов В.В., Лисаневич М.С. Нетканые материалы Холлофайбер® для спальника Гегельского и эвакуационных конвертов для новорожденных // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 72, № 11. С. 60...67.

6. Гегельский О.П., Иванов В.В. Анализ инновационных внедрений в изделии vestigator firefox ("огнестойкий спальник Гегельского"): материалы, конструкция, назначение, перспективы // Русский инженер. 2023. № 1 (78). С. 32...35.

7. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Современные модификации сырья для текстильных полотен // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сб-к матер. междунар. науч.-техн. конф. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. Ч. 2. С. 113...116.

8. Мезенцева Е.В., Иванов В.В., Мишаков В.Ю. Современные технологические подходы к повыше-

нию теплоизоляционных свойств утепленной одежды // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сб-к матер. междунар. науч.-техн. конф. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. Ч. 1. С. 160...164.

9. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю., Иванов В.В. Разработка структуры и исследование свойств теплоизоляционных нетканых материалов на основе инновационных волокон // Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности: сб-к ст. Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. Л.Н. Абуталиповой. Казань: КНИТУ, 2019. С. 231...237.

10. Мезенцева Е.В., Иванов В.В., Мишаков В.Ю. Инновационные разработки теплоизоляционных нетканых материалов для различных секторов промышленности РФ // Экономические механизмы и управленческие технологии развития промышленности: сб-к науч. тр. междунар. науч.-техн. симпозиума «Экономические механизмы и управленческие технологии развития промышленности» Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук». М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. Ч. 2. С. 118...122.

11. Гольшиева А.В., Страркова Е.Г. Анализ ассортимента нетканых материалов компании «Термопол» // Экономика сегодня: современное состояние и перспективы развития (Вектор-2021): сб-к матер. Всерос. науч. конф. молодых исследователей с международным участием. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. С. 127...130.

12. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Ya., Ivanov V.V. Analysis of the effect of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2124 (1), 012024

## REFERENCES

1. Anisimkova A.A., Onikienko V.V., Lisanevich M.S. Review of means of evacuation of newborns in case of fires and emergencies installed in the buildings of perinatal centers // Fires and emerging situations: prevention, liquidation. 2022. No. 4. P. 84...90.

2. Shi Y. Disaster response plans in the neonatal intensive care unit // Chinese journal of contemporary pediatrics. 2017. 19(10): 1033-1037. – doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2017.10.001. PMID: 29046196.

3. Ghazanfari MJ, Karha S., Yaghoubi T. Challenges associated with emergency evacuation in specialized hospitals for children and newborns: a narrative review. Review of the Journal of Pediatrics. 2022. – DOI:10.32598/jpr.10.2.1037.1

4. Liu H., Chen H., Hong R., Liu H., Yu W. Mapping knowledge structure and research trends in emergency evacuation. Saf Sci. 2020; 121:348-61. – DOI:10.1016/j.ssci.2019.09.020

5. Gegelsky O.P., Ivanov V.V., Lisanevich M.S. Non-woven materials Hollofiber® for the Hegelian bedroom and evacuation envelopes for newborns //

Butlerov Communications. 2022. Т. 72. No. 11. P. 60...67.

6. *Gegelsky O.P., Ivanov V.V.* Analysis of innovative implementations in products Vestigator Firefox ("Hegel's fire-resistant sleeping bag"): materials, design, purpose, prospects // Russian engineer. 2023. No. 1 (78). P. 32...35.

7. *Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu.* Modern modifications of the production of textile fabrics // Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS-2018): collection of materials of the international scientific and technical conference. M.: RSU im. A.N. Kosygina, 2018. Part 2. P. 113...116.

8. *Mezentseva E.V., Ivanov V.V., Mishakov V.Yu.* Modern technological approaches to improving the thermal insulation properties of insulated clothing // Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS-2018): collection of materials of the international scientific and technical conference. M.: RSU im. A.N. Kosygina, 2018. Part 1. P. 160...164.

9. *Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu., Ivanov V.V.* Development of the structure and study of the properties of thermal insulating nonwoven materials based on electric fibers // Fundamental and applied problems of creating materials and aspects of textile and light industry technologies. Collection of articles All-Russian

Scientific and Technical Conference. under. ed. L.N. Abutalipova. 2019. P. 231...237.

10. *Mezentseva E.V., Ivanov V.V., Mishakov V.Yu.* Innovative developments of heat-insulating nonwoven materials for various industries of the Russian Federation // Economic mechanisms and management technologies for industrial development. Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium "Economic Mechanisms and Management Technologies for Industrial Development" of the International Kosygin Forum "Modern Problems of Engineering Sciences". M.: RSU im. A.N. Kosygina, 2019. P. 118...122.

11. *Golysheva A.V., Strachkova E.G.* Analysis of the range of nonwoven materials of the Termo-pol company // Economy today: current state and development prospects (Vector-2021): collection All materials of the Russian scientific conference of young researchers with international participation. M.: RSU im. A.N. Kosygina, 2021. P. 127...130.

12. *Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Ya., Ivanov V.V.* Analysis of the influence of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material // Physics: Conference Series, 2021, 2124 (1), 012024

Рекомендована кафедрой медицинской инженерии ФГБОУ ВО «КНИТУ». Поступила 21.07.23.

УДК 572.087

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_182

## ДОПОЛНЕНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ\*

### ADDITION OF THE ANTHROPOMETRIC DATABASE FOR THREE-DIMENSIONAL DESIGN OF CLOTHING

*З.Р. ГРИГОРЬЕВА, О.Н. БУДЕЕВА, Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА, Э.А. ХАММАТОВА, Н.Д. ХАНБЕКОВА*  
*Z.R. GRIGORIEVA, O.N. BUDEEVA, T.S. SOLODUSHENKOVA, E.A. KHAMMATOVA, N.D. KHANBEKOVA*

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(Ufa State Petroleum Technical University)

E-mail: zarema\_grigoreva@inbox.ru, olga.budeeva@yandex.ru, tanyasolodushenkova@mail.ru,  
elm.kzn@mail.ru, natalya-sanlight@yandex.ru

***Проблемы производителей одежды в последнее время сопряжены с несоответствием размеров одежды с размерами потребителей. Причинами несоответствия могут являться устаревшие данные размерных государственных и отраслевых стандартов. В работе проведен анализ международных антропометрических исследований, традиционных методик построения конструкций одежды и головных уборов. Предложено дополнить***

\*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития университета на период 2021-2030 гг. «Приоритет 2030».



*существующий перечень размерных признаков для проектирования одежды в новой размерной типологии населения РФ. Разработанное программное обеспечение по расчету антропометрических параметров с цифрового двойника человека значительно упрощает задачу разработки новой размерной типологии.*

*The problems of clothing manufacturers have recently been associated with the discrepancy between the size of clothing and the size of consumers. The reasons for the discrepancy may be outdated data of dimensional state and industry standards. The paper analyzes international anthropometric studies, traditional methods of constructing clothing designs and hats. It is proposed to supplement the existing list of dimensional features for designing clothes in the new dimensional typology of the population of the Russian Federation. The developed software for calculating anthropometric parameters from a digital human double greatly simplifies the task of developing a new dimensional typology.*

**Ключевые слова:** размерные признаки, размерная типология, трехмерное проектирование одежды, цифровая антропометрическая база.

**Keywords:** dimensional features, dimensional typology, three-dimensional design of clothing, digital anthropometric database.

Российская размерная типология населения требует обновления. Массовые антропометрические исследования не проводились в Российской Федерации с 1972 года, в то время как фигуры россиян за 50 лет претерпели существенные изменения. Произошли изменения размерных признаков, пропорций и формы тела человека в результате процесса акселерации, влияния социально-экономических и этнодемографических факторов. В то же время проектирование одежды даже по классическим методикам нуждается в расширении антропометрической базы.

С развитием трехмерных технологий проведение антропометрических исследований стало возможным с помощью цифрового двойника человека в следующей последовательности: сканирование фигуры, измерение размерных признаков с «аватара» и обработка данных. Снятие размерных признаков с цифрового двойника значительно сокращает время на получение данных. О проектировании одежды трехмерными технологиями много говорится в зарубежных источниках литературы. Антропометрические исследования в прошлом десятилетия проводили ученые Италии, Японии, Голландии, США. Цель и методы исследований у всех были различны.

В 2013 году итальянские исследователи работали по проекту «Size ITALY – The Actual Italian Measurement Survey» [1]. Цель проекта – получение актуальных измерений тела, дифференцированных для производства швейных изделий, и составление актуальных данных размеров для женщин, мужчин и детей путем сканирования жителей Италии. Сканирование людей проходило в четырех различных положениях (три различных положения стоя и одно положение сидя). Набор измерений одежды в Size ITALY в стандартной позе «стоя» состоял из 44 измерений, соответствующих международному стандарту ISO 8559 для проектирования одежды. Набор эргономических измерений состоял из 37 измерений, соответствующих международному стандарту ISO 7250 для технологического дизайна.

В исследовании «A Study on Changes to the Upper Body Shape of Elderly Japanese Women: Analysis of the Transverse Plane by Age Group» [2], проходившем в Корее, определялось, как меняется форма верхней части тела пожилых женщин с возрастом, чтобы улучшить посадку одежды, которую они носят. Установлено, что в их системе построения конструкции одежды учитывается только одна выступающая точка лопатки в качестве опорной точки для опре-

деления направления выточек спины. Однако в ходе экспериментов определено, что у пожилых женщин, которые сутулятся, точка спины, выступающая больше всего, находится ниже области лопаточной кости. Поэтому в данном исследовании разработан новый эталон, в котором на основе новой антропометрической точки созданы пять новых измерений тела.

Исследование «3D Anthropometric Data Set of the Head and Face of Children Aged 0.5-6 Years for Design Applications» проводилось в Голландии [3]. Цель исследования – составить карту антропометрических различий головы и лица детей, разработать антропометрическую базу данных голов и лиц детей в возрасте 0,5-6 лет для применения в дизайне и проверки точности системы визуализации полученных значений 3D-изображения головы. Пять традиционных антропометрических измерений были использованы в исследовании головы и лица детей.

Исследование эргономических характеристик выполнялось Федеральным авиационным управлением США. В результате был разработан стандарт «Anthropometry and Biomechanics FAA HFDS» – «Антропометрия и биомеханика» [4]. В стандарте приводятся эргономические антропометрические и биомеханические данные, которые должны использоваться при проектировании систем, оборудования (включая средства индивидуальной защиты), одежды и рабочих мест. Также в качестве источника был использован доступный пользователю перечень обмеров, которые возможно снять с помощью искусственного интеллекта в BodyFit ПО «Texel Cloud». «Texel» – российская компания – разработчик программного обеспечения и производитель профессиональных 3D-сканеров для получения 3D-моделей людей и крупногабаритных объектов.

В России на данный момент разработан стандарт, где приводится описание антропометрических измерений, которые могут быть использованы в качестве основы для создания не только физических, но и цифровых антропометрических баз данных, – это ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020.

Настоящий стандарт входит в состав первой части международного стандарта ISO-8559-1 и ISO-8559-3. Он описывает способы получения антропометрических данных, которые можно использовать для построения номенклатуры размеров одежды и в процессе ее проектирования. Стандарт формирует основу для ISO 8559-2 «Ведущие и второстепенные размерные признаки» (Primary and secondary dimension indicators) и ISO 8559-3 «Методика создания таблиц размерных признаков и определения межразмерных интервалов» (Methodology for creating body measurement tables and intervals). ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020 основан на измерениях и процедурах, описанных в Европейской конвенции по стандартизации ISO 7250-1.

Командой научно-исследовательского проекта, реализуемого на кафедре технологии и конструирования одежды (ТКО) ФГБОУ ВО «УГНТУ», проведена работа по разработке расширенного перечня размерных признаков на основе ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020, целью которой является создание физической и цифровой антропометрической базы данных. Проанализированы международные исследования и российские стандарты (ГОСТ 31396-2009, ГОСТ 31399-2009, ГОСТ Р ИСО 7250-1-2013, ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020), классические российские методики построения конструкции одежды [5] и головных уборов.

Известно, что при конструировании головных уборов часто используются размерные признаки, ранее не включенные в размерную типологию и ГОСТ, и большинство размерных признаков требуют применения в процессе измерения дополнительных приспособлений.

В базу включены в дополнение к ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020 антропометрические точки: самая выступающая точка затылка – опистокранион, верхушечная точка головы – вертекс, эктокант, субназальная точка, зигион, селлион, стомион, кончик носа, край линии роста волос, середина плеча, ключичная точка, пупок, паховая точка, верхний угол лопатки, самая выступающая точка спины, наивысшая точка гребня подвздошной кости, акромиальная точка,

Таблица 1

верхнеберцовая точка. Составлен перечень дополнительных размерных признаков в количестве 141 шт., выбранный из специальной литературы для проектирования одежды: Е.Б. Булатовой, методики ЦОТШЛ (распространенной в применении российскими конструкторами), работ зарубежных авторов [1-3].

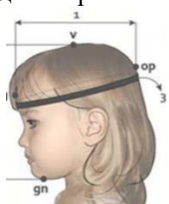
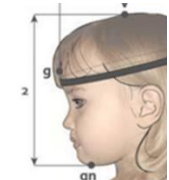
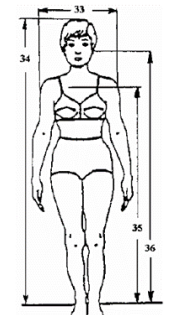
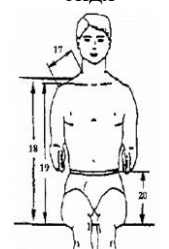
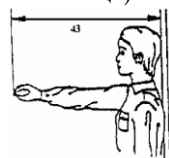
Новый перечень систематизирован по назначениям для проектирования:

- головных уборов, аксессуаров и проведения антропометрических исследований головы;
- рабочих мест и рабочей среды;
- специальной и производственной одежды;
- одежды на нестандартные фигуры (полные, сутулые, несимметричные [6-8]);
- ортопедической одежды;
- одежды и спецприспособлений для ЛОВЗ.

Из 141 размерного признака: 31 – высотные измерения, требующие дополнительного средства измерения – антропометр Мартина; 33 – сложные проекционные измерения, требующие дополнительных средств, таких, как большой толстотный циркуль, штангенциркуль; 49 – дуговых и 28 – обхватных размерных признаков, измеряемых только с помощью измерительной сантиметровой ленты.

В новый перечень включены в том числе 52 размерных признака, ранее отсутствующие в ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020, ГОСТ 31396-2009 (31399-2009), ГОСТ Р ИСО 8559-1-2020 и ГОСТ Р ИСО 7250-1-2013, из которых 44 – проекционных, сложных в измерениях, требующих дополнительных приспособлений, и 8 – дуговых и обхватных, измеряемых с помощью измерительной сантиметровой ленты.

На основании вышеизложенного очевидно, что 75 размерных признаков (53 %) из списка дополнительных размерных признаков проблематичны в измерении, так как при контактном способе обмера требуются дополнительные измерительные средства, что увеличивает длительность и трудоемкость антропометрических исследований.

Наименование размерного признака, рисунок	Методика измерения размерного признака	Пояснения
Передне-задний диаметр головы 	Проекционное измерение от надпереносья (глабелла) до затылка	Для дизайна головных уборов, аксессуаров, антропометрических исследований головы
Краниофациальная высота 	Проекционное расстояние от ментона (кончика подбородка) до макушки головы	Для дизайна головных уборов, аксессуаров, антропометрических исследований головы
Высота трагиона, стоя 	Расстояние по вертикали от пола до трагиона – хрящевой выемки в передней части уха	Для проектирования рабочих мест и рабочей одежды
Высота талии, сидя 	Проекционное расстояние от поверхности сидения до уровня талии, измеренное в позе сидя	Для проектирования рабочих мест, рабочей одежды и рабочей среды.
Функциональная досягаемость (до кончика большого пальца) 	Горизонтальное расстояние от стены до кончика большого пальца, измеренное, когда плечи испытуемого прислонены к стене, рука вытянута вперед	Для проектирования рабочих мест, рабочей одежды и рабочей среды.

В табл. 1 приведены несколько примеров размерных признаков из нового переч-

ня, требующих специальных приспособлений для их снятия.

Применение бесконтактных технологий получения антропометрических параметров с цифрового двойника человека на 3D сканере значительно сокращает временные затраты на выполнение сложных обмеров, а дополненная антропометрическая база данных для трехмерного проектирования одежды позволит расширить область применения новой размерной типологии населения РФ при проектировании одежды для различных сфер деятельности.

Кроме того, командой проекта разработано программное обеспечение для расчета антропометрических размерных признаков с цифрового двойника человека «Бесконтактная система измерения» (БСИ) (рис. 1).

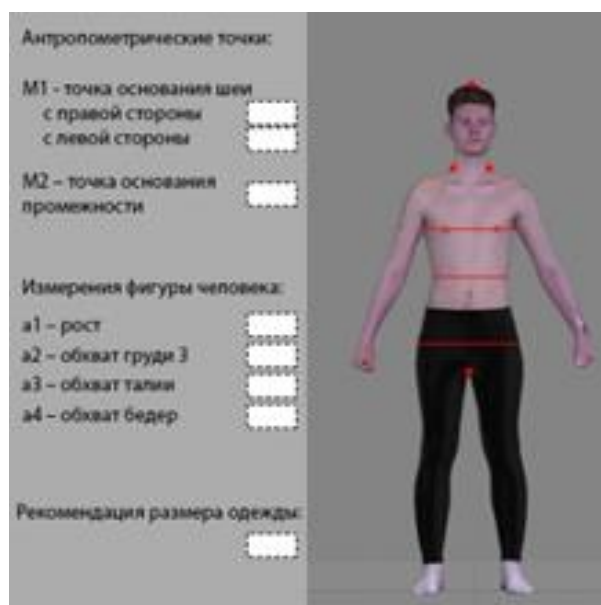


Рис. 1

Программное обеспечение БСИ позволяет оперативно получать базовые размерные признаки (6 шт.) по цифровому двойнику человека (ЦДЧ) и табличным методом выдавать рекомендации по стандартизованным размерам подходящей данному человеку одежды.

Таким образом, оптимизация и дополнение ПО БСИ предложенным перечнем размерных признаков войдет в пакет документов, предназначенный для предприятий легкой промышленности при произ-

водстве конкурентоспособной соразмерной одежды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. SizeITALY - The Actual Italian Measurement Survey. – <https://www.3dbody.tech/cap/abstracts/2012/261stampfli.html> (дата обращения 13.08.2023).

2. A Study on Changes to the Upper Body Shape of Elderly Japanese Women -Analysis of the Transverse Plane by Age Group. – <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002382069> (дата обращения 15.08.2023).

3. 3D Anthropometric Data Set of the Head and Face of Children Aged 0.5-6 Years for Design Applications. – <https://www.semanticscholar.org/paper/3D-Anthropometric-Data-Set-of-the-Head-and-Face-of-Goto-Molenbroek/059b04752ab4837433a10d8bda2e1c709a7f5d99> (дата обращения 15.08.2023).

4. Texel Cloud. – <https://texel.graphics/ru/software-3d/cloud/> (дата обращения 13.08.2023).

5. Кузьмичев В.Е. Развитие антропометрического обеспечения процессов конструирования одежды для цифровой экономики // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022): матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. Витебск, 2022. С. 57...60.

6. Будеева О.Н., Григорьева З.Р., Солoduшenkova Т.С. Требования к швейным изделиям для людей с ограниченными возможностями передвижения // Электронный научный журнал. 2017. № 3-1 (18). С. 63...65.

7. Гусева М.А., Костылева В.В., Петросова И.А., Андреева Е.Г., Литвин Е.В., Гусев И.Д. Цифровизация в инклюзивной антропометрии // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 6 (390). С. 154...161.

8. Григорьева З.Р., Иванчик Е.А., Горелова А.Е. Разработка методик проектирования одежды на фигуры с нарушениями осанки // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 12. С. 99...101.

## REFERENCES

1. SizeITALY - The Actual Italian Measurement Survey. – <https://www.3dbody.tech/cap/abstracts/2012/261stampfli.html> (date of application 13.08.2023).

2. A Study on Changes to the Upper Body Shape of Elderly Japanese Women -Analysis of the Transverse Plane by Age Group. – <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002382069> (date of application 15.08.2023).

3. 3D Anthropometric Data Set of the Head and Face of Children Aged 0.5-6 Years for Design Applications. – <https://www.semanticscholar.org/paper/3D-Anthropometric-Data-Set-of-the-Head-and-Face-of-Goto-Molenbroek/059b04752ab4837433a10d8bda2e1c709a7f5d99>

broek/059b04752ab4837433a10d8bda2e1c709a7f5d99  
(дата обращения 15.08.2023).

4. Texel Cloud. – <https://texel.graphics.ru/software-3d/cloud/> (date of application 13.08.2023).

5. *Kuzmichev V.E.* Development of anthropometric support for the processes of designing clothes for the digital economy // Innovations in textiles, clothing, shoes (ICTAI-2022). Materials of the reports of the international scientific and technical conference. Vitebsk, 2022. Pp. 57...60.

6. *Budeeva O.N., Grigorieva Z.R., Solodushenkova T.S.* Requirements for sewing products for people with disabilities // Electronic scientific journal. 2017. No. 3-1 (18). Pp. 63...65.

7. *Guseva M.A., Kostyleva V.V., Petrosova I.A., Andreeva E.G., Litvin E.V., Gusev I.D.* Digitalization in inclusive anthropometry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. No. 6 (390). Pp. 154...161.

8. *Grigorieva Z.R., Ivanchik E.A., Gorelova A.E.* Development of methods for designing clothes for figures with posture disorders // Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19. No. 12. Pp. 99...101.

Рекомендована кафедрой технологии и конструирования одежды Уфимского государственного нефтяного технического университета. Поступила 13.09.23.

---

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_188

**СТРУКТУРА ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОДЕЖДЫ: ПРАВИЛА ФОРМИРОВАНИЯ\***

**STRUCTURE OF SOFTWARE PROGRAM PIPELINES FOR CREATING  
DIGITAL CLOTHING TWINS: PRINCIPLES OF DESIGN**

*А.Ю. МОСКВИН, М.А. МОСКВИНА, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ*

*A.YU. MOSKVIN, M.A. MOSKVINA, V.E. KUZMICHEV*

(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Ivanovo State Polytechnic University)

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
Ивановский государственный политехнический университет)

E-mail: wkd37@list.ru

*Digital twins modelling uses pipelines which include sets of software programs as the initial data overcomes on its way to the final digital object. This study presents a new approach to pipelines creation using combinatory and parameterisation. It uses requirement matrix to choose the software programs, combines them in hypothetical pipelines and evaluates the pipelines by means of a new set of parameters. Two women costumes were taken as examples to analyse the combinations of software. A requirement matrix which is based on the requirements for the digital twins and the tools and functionality of 26 contemporary software programs was developed. The matrix was employed to filter out software programs that cannot be used to produce the digital twins under the given sets of criteria. The software programs that meet the requirements were combined to form 10800 hypothetic pipelines. A new set of pipeline parameters, the labor intensity of generating a digital twin, the difficulty of mastering, the price and an integral indicator called resource requirements index (RRI), was introduced. Using new indicators, the four most effective complexes for each digital twin were selected and described: the least labor-intensive, easiest to learn, the cheapest and most balanced.*

*Для моделирования цифровых двойников используют программные комплексы в виде совокупности компьютерных программ и алгоритма их применения для обработки исходных данных и генерирования конечного цифрового объекта. В этом исследовании представлен новый подход к формированию программных комплексов с использованием принципов комбинаторики*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФН по соглашению № 24-29-00268.

*и параметризации. Сформирована матрица требований для фильтрации компьютерных программ, объединения их в гипотетические комплексы и оценивания результативности с помощью нового набора параметров. Для анализа процесса формирования программных комплексов использованы два женских костюма: современный и театральный. Сформирована матрица, основанная на требованиях к цифровым двойникам и функциональным возможностям и инструментам 26 общедоступных программ. Матрица, оперирующая заданными критериями, может помочь разделить программы на те, которые нецелесообразно использовать для создания цифровых двойников и которые можно использовать. Предложены новые показатели для оценки программного комплекса: трудоемкость генерирования цифрового двойника, сложность освоения, цена и комплексный показатель потребности в перечисленных ресурсах. С помощью новых показателей выбраны и описаны четыре наиболее эффективных комплекса для каждого цифрового двойника: наименее трудоемкий, легкий в освоении, самый дешевый и сбалансированный.*

**Keywords:** digital twin, 3D modelling pipeline, virtual try on, avatar, modeling workflow, digitisation, software.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, программный комплекс, виртуальная примерка, аватар, процесс моделирования, цифровизация, программное обеспечение.

#### *Introduction*

Digitisation of apparel industry requires software platforms that accumulate functionality and benefits of cutting-edge computer technologies. The digital twin of clothes is a structural model of a «body-clothes» system supplemented by information links between the model and the system. In this regard, digitisation relies on software programs that are used to produce the twins [1-3]. The process of generating the twin involves many steps, such as creation of initial database, human body modelling, pattern drafting, virtual try on, post processing, texture painting, rendering and quality assessment. Each step focuses on different objects and requires special methods to analyse and transform those into digital form. For this reason, one software program cannot be applied throughout the whole process. The practice shows that IT-engineers and 3D modellers use pipelines. The term «pipeline» describes a pass through a set of software programs that the initial data overcomes on its way to the final digital object. This means that different software programs are applied consistently, one after another, and, thus, form the pipeline.

Published results of research works on digital twins of clothes demonstrate different pipelines in according with functionality of software. Moskvina, Moskvina and Kuzmichev combined AutoCAD, Clo3D and 3dsMax to reproduce a 1840 dress suit [4]. AutoCAD, Autodesk Inventor, Clo3D and 3dsMax were applied for parametric modelling of historical crinolines and mannequins [5, 6]. The same authors employed Substance Designer, Make Human, Clo3D and Blender to generate a digital costume of Salt Man4 [7]. Wijnhoven and Moskvina used Autodesk Inventor, 3dsMax, Unreal Engine 4 and AutoCAD in order to replicate and reconstruct archaeological mail armour [8, 9]. Several techniques include virtual clothing generation in terms of polygonal modelling, sculpting, 3D scanning and cloth simulation [10]. Cybulska applied CG software to produce 2D and 3D highly-detailed textiles [11]. A set of 2D pattern drafting systems, computer simulation and texture painting packages was applied to generate digital twins of Chinese archaeological clothes [12-14]. Despite encouraging results in using different pipelines, a versatile and systematic approach to creating those is not yet developed.



Fig. 1 shows the schedule of software programs which can be used for modelling 3D digital twins of clothes. 3D modelling designed from six steps. The first step aims to produce a digital copy of the human body called an avatar. The second step uses 2D computer-aided design (CAD) systems for pattern drafting. The third step employs com-

puter simulations to put the garment on the avatar. The fourth step deals with post processing and creating a flat layout of the 3D surface. During the fifth step the 3D model is painted in accordance with colours and textures of textile materials. The last step is dedicated to generating multimedia materials and presenting the digital twin.

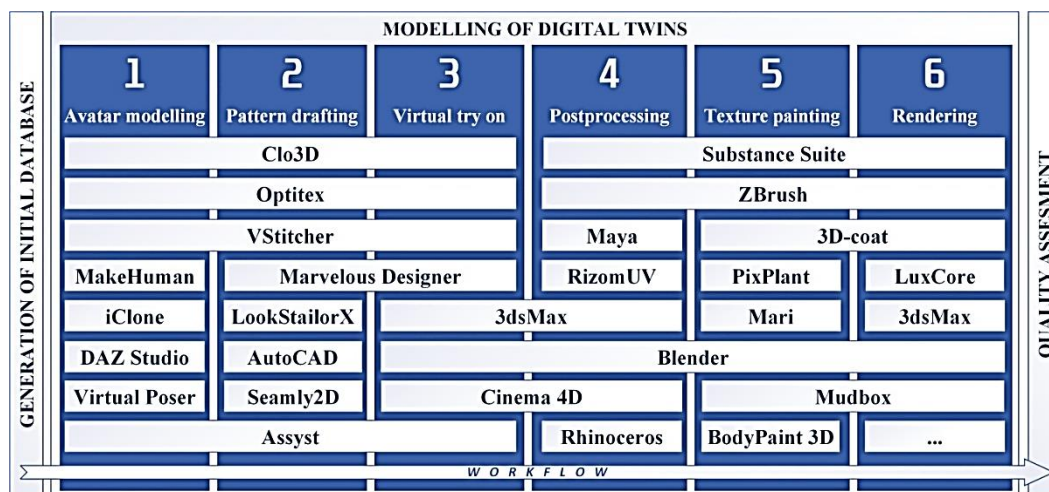


Fig. 1

Most of the programs can be applied only on one of the steps. For example, Make Human and DAZ studio are developed for avatar modelling; Seamly2D and AutoCAD are used for pattern drafting. Several software packages, such as Marvelous Designer, Clo3D, Optitex and Blender, are more versatile and can cover two or more steps of 3D modelling. As can be seen in Fig.1, eight options for software decisions are available on each step. In accordance with the principles of combinatory, 262.144 hypothetical pipelines can be organised from the above-mentioned software programs. The pipelines are not the same. Each of them requires resources, namely, time, staff and money. The resulted «body-clothes» systems differ from each other as well. The features of the garments can be described by using special criteria. In order to meet those, the software program should be able to reproduce all the objects, such as the avatar, the pattern, the textile materials and the 3D structure of the surface of the garment.

This article aims to analyse important aspects of designing pipelines for modelling digital twins and to form a new approach to

pipelines creation using the principles of combinatory and parameterisation.

#### Methods

The study included five stages in terms of a case study. Firstly, two costumes were chosen to analyse the above-mentioned software. Secondly, a requirement matrix for both digital twins was developed. The matrix was used to filter out software programs that cannot be used to produce the digital twins under the given sets of criteria. The software programs that meet the requirements were combined to form hypothetical pipelines. Thirdly, three parameters, namely the laboriousness, the complexity of learning and the price were calculated for each of the pipelines. Fourthly, the three parameters were combined into an integral indicator called resource requirements index (RRI). Fifthly, four most effective pipelines were chosen for generating each twin.

Thus, the study uses four factors to describe the pipelines and compare them against each other. The factors are as follows:

1. Number of operations that should be done. Pipelines with many operations require a lot of time and vice versa.

2. Number of software programs. The number implicitly reflects the time that the engineer invests into mastering the interface and tools of the software.

3. The amount of money required to purchase the software programs.

4. RRI is a combination of the three above mentioned parameters which allows the most balanced pipeline to be revealed.

The less resources for creating the pipeline, the better. Therefore, the values of each of the factors are inversely proportional with the suitability of the pipeline.

Fig. 2 shows photographs of two sets of clothing which were chosen for digitisation: the first one is a contemporary women's suit [15]; the second one is a theatrical costume for the play «A Profitable Position» (1856) by A.N. Ostrovsky. Both digital twins are availa-

ble at Sketchfab ([16]-[17]). The initial databases for both costumes included body measurements and patterns, as well as the properties and scans of textile materials.



Fig. 2

The aims of each step of digitisation are presented in Table 1.

Table 1

Step	Final aim	
	Digital twin 1 of contemporary women's suit	Digital twin 2 of theatrical costume
1. Avatar modelling	Concordance to traditional body measurements measured in static	Concordance to body measurements after its transformation under corseting effects
2. Pattern drafting	Digitisation of a raster image of the sewing pattern	Standard pattern drafting in CAD software
3. Virtual try on	Reproduction of the 3D shape of the garment using digital textile materials and computer simulations	
4. Post processing	Generating a flat layout of the 3D surface using UV-mapping technology	
5. Texture painting	Standard non-destructive texturing of the surface of the 3D model	Reproduction of historical textiles and signs of wear, such as dirt, scuffs and wrinkles
6. Rendering	Generating 2D image of digital twin	

As can be seen in Table 1, the aims of steps 1, 2 and 5 for the two costumes are not the same. The avatar (step 1) for the first twin represents standard contemporary body size while the second avatar require body shape modifications in accordance with historical corseting effects. The block pattern (step 2) of the first costume is presented as a raster image. Thus, the modelling of the first twin relies on image tracing technology for pattern drafting. The second costume has many decorative elements made from different textile materials which are widely used for theatrical costumes production and require advanced texture painting tools (step 5).

Table 2 shows the requirement matrix which contains criteria for choosing of software programs. The matrix was used to trace

the requirements to the digital twins and correlate them with tools and functionality of 26 software programs. The requirements are divided between six groups (Fig. 1). Italic font indicates specific criteria relevant only for one of the twins.

Bold font in Table 2 indicates 19 software programs that meet the requirements.

The number of operations and prices for each software program were calculated from official user's manuals, online video guides, official websites and our personal experience (Fig. 3). The data was processed by using common tools of Microsoft Excel. An operation was considered a sequence of actions with one object, such as a part of the garment or a single texture map. The cost of software was calculated for one month. The information

about pricing provided in Fig. 3 is for information purposes only and does not constitute an offer. Up-to-date licensing models and

prices are available at the official websites of the developers of the software.

Table 2

Requirements		Software functionality*																										
No	Criteria	Clo3D	Optitex	VStitcher	MakeHuman	iClone	DazStudio	VirtualPoser	Assyst	MarvelousDesigner	LookStailorX	AutoCAD	Seamly2D	3dsMax	Blender	Cinema4D	Substance Painter	ZBrush	Maya	RizomUV	Rhinoceros	3D-coat	PixPaint	Mari	Mudbox	BodyPaint3D	LuxCore	
<b>Step1 – Avatar modelling</b>																												
1.1	Full body avatar with limbs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																		
1.2	Rigged 3D model with bones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																		
1.3	FBX/OBJ export	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																		
1.4	Body measurements compatibility	✓	✓	✓	✓				✓	✓																		
1.5	<i>Advanced shape controls**</i>				✓				✓																			
	Result (Digital twin 1)	✓	✓	✓	✓				✓																			
	Result (Digital twin 2)				✓				✓																			
<b>Step2 – Pattern drafting</b>																												
2.1	Non-parametric 2D drawing	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓							
2.2	2D accuracy of 0,1 mm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓							
2.3	Advanced 2D drafting tools	✓	✓	✓					✓			✓	✓															
2.4	<i>Automated image tracing***</i>											✓																
	Result (Digital twin 1)											✓																
	Result (Digital twin 2)	✓	✓	✓					✓			✓																
<b>Step3 – Virtual try on</b>																												
3.1	Cloth simulation technology	✓	✓	✓					✓	✓				✓	✓	✓			✓									
3.2	Textiles properties compatibility	✓	✓	✓					✓	✓																		
	Result (Digital twin 1 and 2)	✓	✓	✓					✓	✓																		
<b>Step4 – Postprocessing</b>																												
4.1	UV-mapping technology	✓								✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
4.2	Automated island packing													✓	✓	✓			✓	✓	✓							
	Result (Digital twin 1 and 2)													✓	✓	✓			✓	✓	✓							
<b>Step5 – Texture painting</b>																												
5.1	Real-time texture painting														✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓		
5.2	Non-destructive texturing														✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓		
5.3	<i>Automated wear marks****</i>														✓	✓								✓				
	Result (Digital twin 1)														✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓		
	Result (Digital twin 2)														✓	✓								✓				
<b>Step6 – Rendering</b>																												
6.1	PBR rendering technology	✓		✓		✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓
6.2	Advanced lighting tools													✓	✓	✓			✓		✓							✓
	Result (Digital twin 1 and 2)													✓	✓	✓			✓		✓							✓

\*The result is positive if all the requirements within the group are fulfilled.  
 \*\*Those include tools required for reproducing corseting effects in digital twin 2.  
 \*\*\*Image tracing is used for digitization of the sloper pattern in digital twin 1.  
 \*\*\*\*The signs of wear are reproduced in digital twin 2.

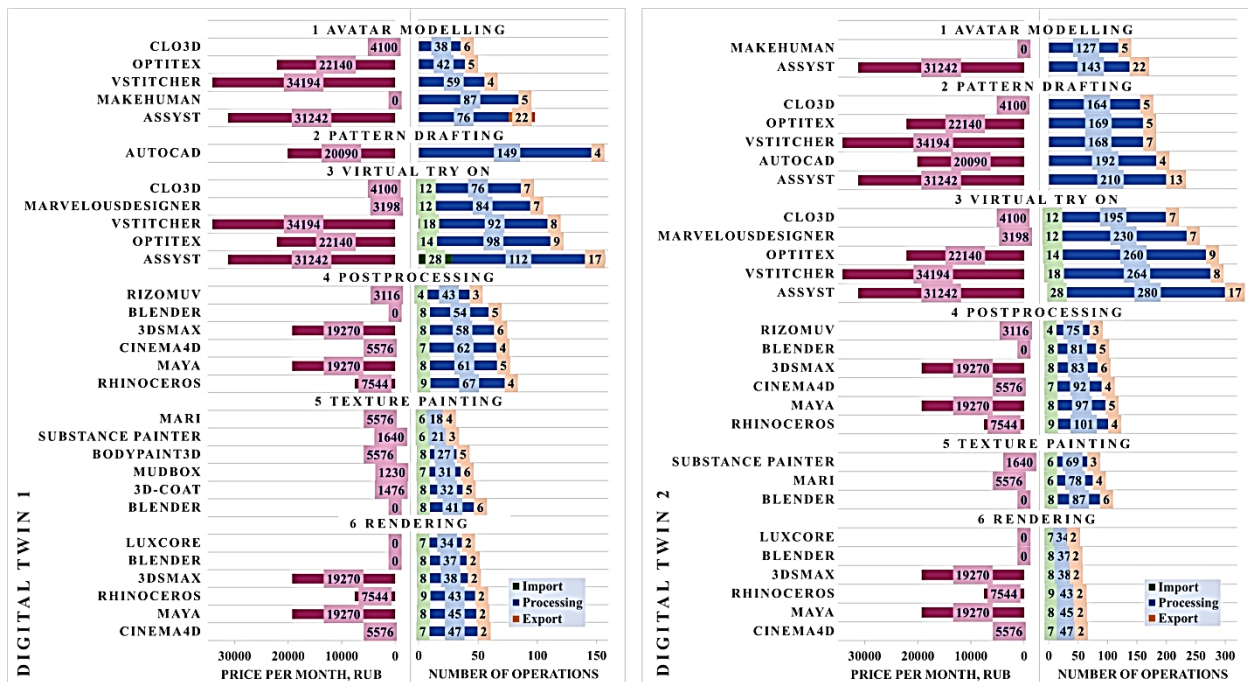


Fig. 3

As can be seen in Fig. 3, the software programs vary in prices and number of operations involved.

Three types of operations exist, i.e. data import, data processing and results export. Thus, the first parameter of the pipeline, namely, the total number of operations  $N$ , can be calculated by (1)

$$N = \sum_{i=1}^6 n_i + \sum_{j=1}^k m_j; \quad 1 \geq k \geq 5, \quad (1)$$

where  $n_i$  is the total number of 3D modelling operations within step  $i$ ;  $m_j$  is the total number of operations within export/import procedure  $j$  required for transferring data from one software program to another;  $k$  is the number of export/import procedures.  $N$  describes the time costs of the pipeline and thus can be used to compare the hypothetic pipelines and chose the most effective once.

In accordance with International Computer Driving Licence (ICDL) [18, 19], three levels of proficiency in digital skills exist - base, standard and advanced - which reflect an inter alia, a time on task (also known as task completion time) [20]. The user spends a time on each operation. As digital skills are increasing, the time on task is decreasing. Thus, the beginners spend more time on each operations than more experienced users. That aspect can

be taken into account by using a correction coefficient of time on task that reflects the ratio for particular user to average user. The coefficient can be calculated from learning curves [21], which describe the mathematical dependency existing between the time invested into learning and the progress achieved. For example, the formulas by L.L. Thurstone [22] can be applied to calculate above-mentioned correction coefficient for the complex learning curve, S-curve, diminishing returns curve and increasing returns curve [23, 24].

The second parameter-the number of software programs within the pipeline  $P$  -is calculated by using (Eq. 2)

$$P = \sum_{i=1}^6 p_i, \quad (2)$$

where  $p_i$  is the number of software programs at step  $i$ .

The third parameter – the price of the pipeline  $S$  – can be evaluated by (Eq. 3)

$$S = \sum_{a=1}^P s_a, \quad (3)$$

where  $s_a$  is the price of the software program and  $P$  is the number of programs within the pipeline.

The resource requirements index  $RRI$ , which summarizes the values of  $N$ ,  $P$  and  $S$ ,



was calculated by means of three values. The average values  $N_{average}$ ,  $P_{average}$  and  $S_{average}$  were calculated as arithmetic means for all the hypothetical pipelines. The values of  $N_{actual}$ ,  $P_{actual}$  and  $S_{actual}$  (1-3) for each pipeline were divided by  $N_{average}$ ,  $P_{average}$  and  $S_{average}$  to calculate the relative values  $N_{relative}$ ,  $P_{relative}$  and  $S_{relative}$  by (Eq. 4)

$$RRI = \left( \frac{N_{relative}W_N + P_{relative}W_P + S_{relative}W_S}{+S_{relative}W_S} \right) \cdot 100; \quad (4)$$

$$0 \geq W_N \geq 1; 0 \geq W_P \geq 1; 0 \geq W_S \geq 1; W_N + W_P + W_S = 1$$

where  $W_N$ ,  $W_P$  and  $W_S$  is the weight of  $N$ ,  $P$  and  $S$  which reflects the importance of the pa-

rameters in relation to individual or official factors. To simplify all the calculations, the parameters in this case-study were considered equally important. The weight of each parameter was equivalent to 0,33.

$RRI$  equal to 100 indicates average requirement in resources.  $RRI$  less than 100 shows that the pipeline requires less resources than the average one.  $RRI$  more than 100 indicates resource-intensive pipelines.

#### Results and discussion

Fig. 4 shows a scheme of 5400 hypothetical pipelines for each of the digital twins. Each software program meets the criteria listed in the requirement matrix (Table 2).

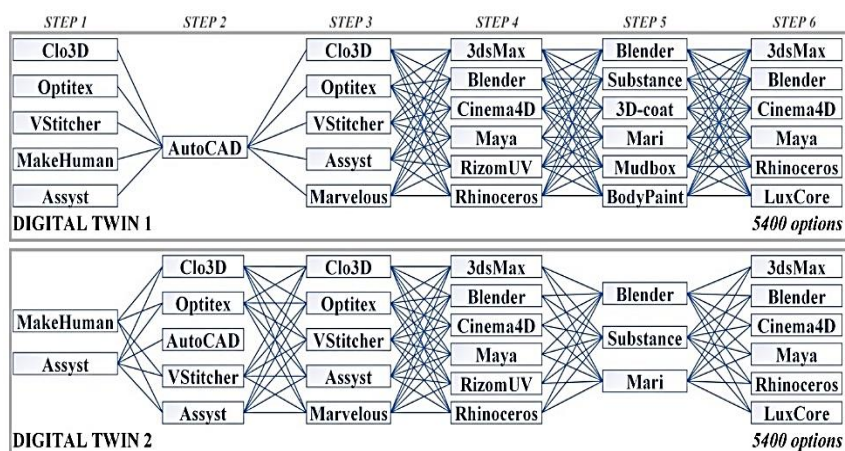


Fig. 4

Table 3 shows the parameters,  $N$ ,  $P$ ,  $S$  and

$RRI$ , which were calculated by using (1-4).

Table 3

Digital twin	Number of hypothetical pipelines	$N$			$P$			$S$ , RUB/month			$RRI$		
		min	average	max	min	average	max	min	average	max	min	average	max
1	5400	413	501	599	3	6	6	23288	70981	117916	59,7	100	127,2
2	5400	709	846	984	2	5	6	4100	64728	119964	50,4	100	133,6

Table 3 shows that hypothetical pipelines vary in complexity and characteristics. The number of operations ranges from 413 to 599 and from 709 to 984 for twins 1 and 2. The number of software programs varies from two to six. The price of the pipelines is between 4100 and 119964 RUB.  $RRI$ , which ranges from 50 to 133, indicates that the process of digital twin modelling uses different amount of resources depending on the chosen pipeline.

In order to filter out the pipelines and chose the relevant ones, the values of  $N_{actual}$ ,  $P_{actual}$  and  $S_{actual}$ , the relative values  $N_{relative}$ ,  $P_{relative}$  and  $S_{relative}$  and  $RRI$  were calculated for each of 10800 pipelines. The calculated values were used to choose most effective pipelines for each twin: for twin 1 – 1.1, 1.2, 1.3 and 1.4; for twin 2 - 2.1, 2.2, 2.3 and 2.4 (Table 4).

No.	Features	N		P		S, RUR/month		RRI
		N <sub>actual</sub>	N <sub>relative</sub>	P <sub>actual</sub>	P <sub>relative</sub>	S <sub>actual</sub>	S <sub>relative</sub>	
Digital twin 1								
1.1	The least laborious	413	0,82	5	0,88	32882	0,46	72
1.2	The cheapest	484	0,97	5	0,88	23288	0,33	88
1.3	Easy to master	490	0,98	3	0,53	42230	0,59	70
1.4	Balanced	461	0,92	3	0,53	24190	0,34	59
Digital twin 2								
2.1	The least laborious	709	0,84	5	0,92	8856	0,14	63
2.2	The cheapest	744	0,88	4	0,74	4100	0,06	56
2.3	Easy to master	955	1,13	2	0,37	31240	0,48	66
2.4	Balanced	757	0,89	3	0,55	4100	0,06	50

Fig. 5 shows graphical representations of resulted pipelines.

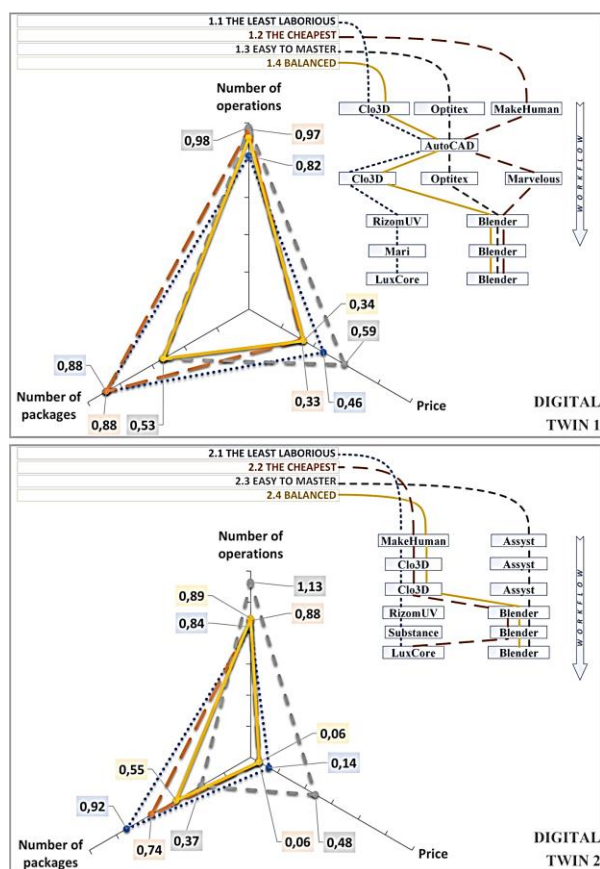


Fig. 5

The radar charts show the balance between three relative parameters in each pipeline.

Pipelines 1.1 and 2.1 has the lowest *N* and require minimum operations. Pipelines 1.2 and 2.2 has the lowest *S* and the lowest prices. Thus, those pipelines are available for small organisations and individual modellers. Pipelines 1.3 and 2.3 has the lowest *P*. They include 2-3 soft-

ware packages which makes mastering the interface and tools of the software less time consuming. Pipelines 1.4 and 2.4 has the lowest *RRI* values. They are the most balanced ones and present compromises between the lowest values of *N*, *S* and *P* values.

As can be seen in Fig.5, the case-study resulted in the algorithm of a new method which allows to reduce the number of hypothetical pipelines from 5400 to 4. Thus, the presented approach allows individuals and organisations to create pipelines that meet their preferences, demands and possibilities. Moreover, new parameters *N*, *P*, *S* and *RRI* design a new parametric approach to digital twins modelling.

## CONCLUSIONS

The article reveals important aspects of compiling pipelines for digital twins modelling and provide new algorithm to pipelines creation. The results of the study can be summarised as follows.

1. A new approach to pipelines creation using combinatory and parameterisation was developed. It is based on a new set of software programs parameters, combining them in hypothetical pipelines, a matrix to filter them out and equations to evaluate the pipelines.

2. A requirement matrix for tracing the requirements to digital twins and correlating them with functionality of 26 contemporary software programs was developed. The matrix was employed to filter out software programs that cannot be used and choose appropriate programs to form hypothetical pipelines and produce the digital twins under the given sets of criteria.

3. A new set of pipeline parameters including numbers of operations and software programs, the price and an integral indicator called resource requirements index (RRI) was introduced. The new parameters were employed to choose and describe four most effective pipelines, i.e., the least laborious, the cheapest, «easy to master» and «balanced».

The presented approach has several limitations.

1. The number of operations should be combined with «average time on task» to describe the time costs more precisely.

2. Experienced engineers use custom combinations of software programs and refrain from altering those if they are able.

3. Clo3D, Assyst and Vstitcher provide users with more accurate tools for computer simulations and, thus, increase the accuracy of digital twins. Thus, the quality of results should be considered along the set of pipeline parameters presented in this article.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Kuzmichev V., Yan J.* The Application of Digital Twins in the Field of Fashion // *Digital Twins: Basics and Applications*. Springer, Cham. 2022. Pp. 45...57. – [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11401-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11401-4_6)

2. *Царев М.В., Андреев Ю.С.* Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2021. Т. 64, №7. С. 517...531.

3. *Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.* Digital twins of textile materials for visualization of historical costumes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. №2(398). P. 86...93.

4. *Kuzmichev V.E., Moskvin A. & Moskvina M.* Virtual Reconstruction of Historical Men's Suit // *Autex Research Journal*. 2018, 18. Pp. 281...294.

5. *Moskvin A., Kuzmichev V. & Moskvina M.* Digital replicas of historical skirts // *The Journal of the Textile Institute*. 2019, 110:12. Pp. 1810...1826.

6. *Moskvin A., Moskvina M. and Kuzmichev V.* Parametric modeling of historical mannequins // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2020. Vol. 32 No. 3. Pp. 366...389.

7. *Moskvin A., Grömer K., Moskvina M., Kuzmichev V., Stöllner T. & Aali A.* Chapter 18. 3D Visualization of the 2400-year-old garments of Salt Man 4 from Chehrābād, Iran. // *Ancient Textile Production from an Interdisciplinary Perspective. Humanities and Natural Sciences Interwoven for our Understanding*

of Textiles. Springer, Cham. 2022. Pp. 319...335. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92170-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92170-5_18)

8. *Wijnhoven M.A. & Moskvin A.* Digital replication and reconstruction of mail armour // *Journal of Cultural Heritage*. 2020, 45. Pp. 221...233.

9. *Wijnhoven M.A., Moskvin A., Moskvina M.* Testing archaeological mail armour in a virtual environment: 3rd century BC to 10th century AD // *Journal of Cultural Heritage*. 2021, 48. Pp. 106...118.

10. *Kang Zi Young.* Reproduction of Historic Costumes Using 3D Apparel CAD. PhD thesis. 2016, University of Leeds.

11. *Cybulska M.* To see the unseen. Computer graphics in visualisation and reconstruction of archaeological and historical textiles // *Computer Graphics. In Tech*, 2012. Pp. 213...228.

12. *Liu K., Zhou S. & Zhu C.* Historical changes of Chinese costumes from the perspective of archaeology // *Herit Sci*. 2022, 10, 205. Pp. 1...15.

13. *Zhu C., Liu K., Li X., Zeng Q., Wang R., Zhang B., Lü Z., Chen C., Xin X., Wu Y., Zhang J., Zeng X.* Research on Archaeology and Digital Restoration of Costumes in Dao Lian Painting // *Sustainability*. 2022; 14(21):14054.

14. *Liu K., Zhao J., Zhu C.* Research on Digital Restoration of Plain Unlined Silk Gauze Gown of Mawangdui Han Dynasty Tomb Based on AHP and Human-Computer Interaction Technology // *Sustainability*. 2022, 14(14):8713.

15. Патент на промышленный образец № 107804 RU. Костюм женский / А.Ю. Москвин, М.А. Москвина.

16. *Mariia Moskvina* // *Scetchfab*. – <https://sketchfab.com/mariia89> (дата обращения: 11.04.23).

17. [https://sketchfab.com/K\\_SH\\_IVGPU](https://sketchfab.com/K_SH_IVGPU) (дата обращения: 11.04.23)

18. Фонд ICDL, ICDL Europe. – <https://icdl.org/> (дата обращения 10.05.2023).

19. Price C. ICDL: Международное компьютерное водительское удостоверение. Т. 1, модули 1-4. – Издательство программного обеспечения Pty Limited, 2001.

20. <https://okrify.com/time-on-task-or-task-completion-time/> (дата обращения 10.05.2023).

21. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20111110205317270> (дата обращения 10.05.2023).

22. *Thurstone L.L.* Уравнение кривой обучения: монография. – Компания по психологическому обзору: Принстон, Нью-Джерси, 1919. Т. XXVI, № 114.

23. Как ориентироваться в процессе цифрового обучения для усиления организационных изменений. 2023. – <https://change.walkme.com/learning-curve/#what-is-the-learning-curve-theory> (дата обращения 10.05.2023).

24. Обучение на 360 градусов. Что такое теория кривой обучения? – <https://360learning.com/guide/learning-theories/learning-curve-theory/> (дата обращения 10.05.2023).



## REFERENCES

1. *Kuzmichev V., Yan J.* The Application of Digital Twins in the Field of Fashion // *Digital Twins: Basics and Applications*. Springer, Cham. 2022. Pp. 45...57. 1. – [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11401-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11401-4_6)
2. *Carev M.V., Andreev YU.S.* Cifrovye dvojniki v promyshlennosti: istoriya razvitiya, klassifikaciya, tekhnologii, scenarii ispol'zovaniya // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*. 2021. T. 64, №7. S. 517...531.
3. *Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.* Digital twins of textile materials for visualization of historical costumes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. №2(398). P. 86...93.
4. *Kuzmichev V.E., Moskvin A. & Moskvina M.* Virtual Reconstruction of Historical Men's Suit // *Autex Research Journal*. 2018, 18. Pp. 281...294.
5. *Moskvin A., Kuzmichev V. & Moskvina M.* Digital replicas of historical skirts // *The Journal of The Textile Institute*. 2019, 110:12. Pp. 1810...1826.
6. *Moskvin A., Moskvina M. and Kuzmichev V.* Parametric modeling of historical mannequins // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2020. Vol. 32 No. 3. Pp. 366...389.
7. *Moskvin A., Grömer K., Moskvina M., Kuzmichev V., Stöllner T. & Aali A.* Chapter 18. 3D Visualization of the 2400-year-old garments of Salt Man 4 from Chehrābād, Iran. In: *Ulanowska, A., Grömer, K., Berghe, I.V., Öhrman, M. (eds) Ancient Textile Production from an Interdisciplinary Perspective. Humanities and Natural Sciences Interwoven for our Understanding of Textiles*. Springer, Cham. 2022, Pp. 319...335. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92170-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92170-5_18)
8. *Wijnhoven M.A., & Moskvin A.* Digital replication and reconstruction of mail armour // *Journal of Cultural Heritage*. 2020, 45. Pp. 221...233.
9. *Wijnhoven M.A., Moskvin A. & Moskvina M.* Testing archaeological mail armour in a virtual environment: 3rd century BC to 10th century AD // *Journal of Cultural Heritage*. 2021, 48. Pp. 106...118.
10. *Kang Zi Young.* Reproduction of Historic Costumes Using 3D Apparel CAD. PhD thesis. 2016, University of Leeds.
11. *Cybulska M.* To see the unseen. Computer graphics in visualisation and reconstruction of archaeological and historical textiles. In: *Mukai, N. (eds) Computer Graphics*. – In Tech, 2012. Pp. 213...228.
12. *Liu K., Zhou S. & Zhu C.* Historical changes of Chinese costumes from the perspective of archaeology // *Herit Sci*. 2022, 10, 205. Pp. 1...15.
13. *Zhu C., Liu K., Li X., Zeng Q., Wang R., Zhang B., Lü Z., Chen C., Xin X., Wu Y., Zhang J., Zeng X.* Research on Archaeology and Digital Restoration of Costumes in DaoLian Painting // *Sustainability*. 2022; 14(21):14054.
14. *Liu K., Zhao J., Zhu C.* Research on Digital Restoration of Plain Unlined Silk Gauze Gown of Mawangdui Han Dynasty Tomb Based on AHP and Human-Computer Interaction Technology // *Sustainability*. 2022, 14(14):8713.
15. Designpatent № 107804 RU Women's suit / A. Moskvin, M. Moskvina.
16. Mariia Moskvina [Website] // *Scetchfab*. – <https://sketchfab.com/mariia89> (Date accessed: 11.04.23)
17. [https://sketchfab.com/K\\_SH\\_I\\_IVGPU](https://sketchfab.com/K_SH_I_IVGPU) (Date accessed: 11.04.23)
18. ICDL Foundation, ICDL Europe. – <https://icdl.org/> (Date accessed 10.05.2023).
19. Price C. ICDL: International Computer Driving Licence. Volume 1, modules 1-4. – Software Publications Pty Limited, 2001.
20. <https://okrify.com/time-on-task-or-task-completion-time/> (Date accessed 10.05.2023).
21. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20111110205317270> (Date accessed 10.05.2023).
22. *Thurstone L.L.* The learning curve equation: psychological monographs. – Psychological review company: Princeton, N J., 1919. Vol. XXVI, No. 114.
23. How to navigate the digital learning curve for enhanced organizational change. 2023. – <https://change.walkme.com/learning-curve/#what-is-the-learning-curve-theory> (Date accessed 10.05.2023).
24. 360 Learning. What is Learning Curve Theory? – <https://360learning.com/guide/learning-theories/learning-curve-theory/> (Date accessed 10.05.2023).

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий Ивановского государственного политехнического университета. Поступила 30.04.23.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОВАРНЫМИ ЗАПАСАМИ ПРИ ЧАСТЫХ ПОСТАВКАХ  
ТОВАРОВ СПОРАДИЧЕСКОГО СПРОСА**

**APPLICATION OF PROBABILISTIC FORECASTING METHODS  
FOR INVENTORY MANAGEMENT WITH FREQUENT DELIVERIES  
FOR GOODS OF SPORADIC DEMAND**

*С.Б. ЛАПШИНОВ<sup>1</sup>, Я.Э. ЖУКОВА<sup>2</sup>, С.Н. СПЕРАНСКИЙ<sup>2</sup>, У. ЛОДОЙН<sup>3</sup>*

*S.B. LAPSHINOV<sup>1</sup>, Y.E. ZHUKOVA<sup>2</sup>, S.N. SPERANSKY<sup>2</sup>, U. LODOIN<sup>3</sup>*

*(<sup>1</sup>Ивановский государственный университет,*

*<sup>2</sup>Ивановский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,*

*<sup>3</sup>Монгольский университет науки и технологий)*

*(<sup>1</sup>Ivanovo State University,*

*<sup>2</sup>Ivanovo Branch, Plekhanov Russian University of Economics,*

*<sup>3</sup>Mongolian university of science and technology)*

E-mail: lapshinov1974@yandex.ru, zhukovayana77@gmail.com, spira1971@mail.ru,  
udval\_lodoi@must.edu.mn

*В настоящей статье рассматриваются методы прогнозирования и расчета товарных запасов для повышения эффективности управления ими в сетевых розничных магазинах, моделируется вероятный спрос и определяется его нормативная удовлетворенность с учетом редких продаж. Рассматриваются варианты частых поставок: каждый день и через день. Потенциальный спрос со стороны потребителя определяется как условно постоянный в течение всего календарного года.*

*This article discusses methods for forecasting and calculating inventory to improve the efficiency of inventory management in online retail stores, models probable demand and determines its standard satisfaction, taking into account rare sales. Options for frequent deliveries are being considered: every day and every other day. Potential demand from the consumer is defined as conditionally constant throughout the calendar year.*

**Ключевые слова:** товарный ассортимент, товарный остаток, спорадический спрос, статистические методы и модели, прогнозирование вероятности спроса, расчет товарных запасов, моделирование уровня удовлетворенности.

**Key words:** product range, inventory balance, sporadic demand, statistical methods and models, forecasting the probability of demand, calculation of inventory, modeling the level of satisfaction.

Отраслевым стандартом организации розничных продаж в настоящее время является сетевая розница. По итогам 2022 года именно розничные торговые сети Российской Федерации показывают рост. При этом на первый план выходит необходи-

мость управления товарными запасами в розничном магазине, качество и эффективность которого определяет в конечном итоге конкурентоспособность конкретной торговой точки. Фактором, определяющим успешность большинства торговых сетей,

является их физический рост, сеть заточена на экспансию на рынке. При увеличении количества торговых точек увеличивается товарный запас, находящийся на полках. При этом рынок, на котором работает конкретная торговая точка, не всегда растет – количество потребителей не увеличивается, как и их платежеспособность. Таким образом, возникает риск «перетарки», то есть на полке розничного магазина появляется товар, запас которого оказывается излишним, и сохраняется товарный остаток до следующей поставки. Подобная ситуация приводит к ухудшению оборачиваемости товарных остатков и снижает эффективность использования оборотных средств предприятия розничной торговли. Особенно это касается торговли непродовольственными товарами, большинство из которых не является товарами повседневного спроса. В своих предыдущих работах [1] мы касались данного фактора, однако в них рассматривалась и теоретически обосновывалась возможность управления товарными запасами с точки зрения обеспечения необходимого количества товарного остатка на каждый день. Базовое отличие продаж товаров повседневного и спорадического спроса в том, что для товаров повседневного спроса вероятность продажи обычно выше вероятности непродать (нулевой продажи), поэтому использование стандартных моделей, прогнозирующих спрос как некие средние величины или наиболее вероятные величины [2], не обеспечивает высокое качество прогнозирования. В настоящей работе нами будет рассмотрена модель обеспечения товарными остатками при графике снабжения торговой точки один раз в два дня или через день.

#### *Метод исследования*

Объектом исследования являлся процесс снабжения розничных точек продаж непродовольственными товарами спорадического спроса в рамках контура производственной логистики: от распределительного центра сети до розничной торговой точки.

В качестве предмета исследования выбран товарный остаток в натуральном выражении на полке розничной торговой точки,

обеспечивающий удовлетворение потенциального спроса со стороны покупателя с заданным уровнем удовлетворенности.

Метод исследования – расчет необходимого товарного запаса, обеспечивающего удовлетворение потенциального спроса с заданным уровнем удовлетворенности.

В отличие от предыдущей статьи [1], где рассматривался метод, суть которого заключалась в определении вероятности дневного исхода каждого события, например: отсутствие покупки, покупка 1 штуки, покупка 2 штук и т. д. –  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ , в настоящей статье рассматривается период, равный циклу поставки, то есть двум дням. При этом рассматриваются случаи, когда продажи товаров имеют выраженную сезонную составляющую, но товар присутствует в полочном пространстве круглый год. Для использования алгоритма вероятностного прогнозирования на цикл поставки более одного дня его необходимо модифицировать. Серьезным минусом использования вероятностного алгоритма расчета потребности в товарах на несколько дней является то, что объем базовой выборки растет в геометрической прогрессии, что до последнего времени было существенным сдерживающим фактором. В табл. 1 представлена информация о продажах за 10 дней. Для расчета каждодневной поставки этих данных будет вполне достаточно.

Т а б л и ц а 1

Дни продаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество продаж фактическое	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1

Суммарная вероятность события с нулевой продажей за 10 дней по конкретному товару определяется по формуле:

$$\sum P_0 = 1/10 * N, \quad (1)$$

где  $N$  – количество исходов с нулевой продажей за день.

Пример расчета потребности в товарном запасе на 1 день для ежедневной поставки проводится на основе выборки объемом 10 дней.

Согласно [3] в нашем случае суммарная вероятность составит:

- для нулевых продаж  $P_0 = 0,5$ ;
- для единичных продаж  $P_1 = 0,3$ ;
- для двух продаж  $P_2 = 0,1$ ;
- для трех продаж  $P_3 = 0,1$ .

Если же поставка товаров осуществляется раз в два дня, то необходимо сначала смоделировать базовую выборку возможных вариантов продаж за два дня как для независимых случайных событий. Объем этой выборки будет расти в геометрической прогрессии и составит уже  $10^2=100$ . Базовая выборка для моделирования продаж за два дня представлена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Дни продаж, прогноз	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Варианты исходов продаж										
0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1
1	1	2	1	1	2	3	1	4	1	2
0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1
0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1
1	1	2	1	1	2	3	1	4	1	2
2	2	3	2	2	3	4	2	5	2	3
0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1
3	3	4	3	3	4	5	3	6	3	4
0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	1
1	1	2	1	1	2	3	1	4	1	2

Для расчета потребности в товарном запасе предлагается использовать фактические данные о ретроспективных продажах и смоделированную выборку из табл. 2. Далее необходимо сформировать вероятности для каждого исхода возможных событий и по формуле (1) определить необходимый уровень удовлетворенности прогнозного спроса. Как показано на рис. 1, оптимальным размером для объема анализа ретроспективных продаж и формирования базового периода продаж являются продажи за 4 недели – 28 дней, при этом будет влияние и характера тренда. В предлагаемом алго-

ритме расчета потребности имеем следующие значения для определения базовой выборки:

1. Растущий тренд. Берутся все продажи по дням:

- За  $N-3$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.
- За  $N-2$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.
- За  $N-1$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.
- За  $N$  год:  $Q-1, Q-2, Q-3, Q-4$  недели.

2. Падающий тренд. Берутся все продажи по дням:

- За  $N-3$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.
- За  $N-2$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.
- За  $N-1$  год:  $Q, Q+1, Q+2, Q+3$  недели.

3. Боковой тренд. Берутся все продажи по дням:

- За  $N$  год:  $Q-1, Q-2, Q-3, Q-4$  недели.

4. Отсутствие тренда. Берутся все продажи по дням:

- За  $N$  год:  $Q-1, Q-2, Q-3, Q-4$  недели.

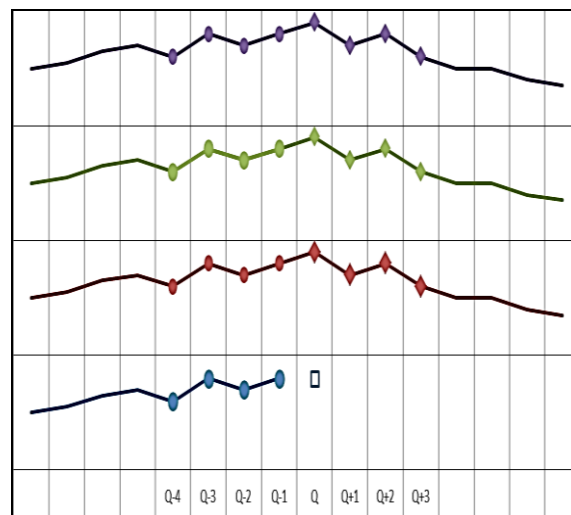


Рис. 1

В ситуации прогнозирования товарных остатков при растущем и падающем характерах тренда необходимо учитывать данные о продажах не только за предшествующие 28 дней, но и за аналогичные периоды прошлых лет, а также за прогнозный период, соответствующий данным за аналогичный период предыдущего года. Данное обстоятельство резко увеличивает объем моделируемой базовой выборки, что представлено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Дни за-паса	Характер тренда			
	расту-щий	падаю-щий	боко-вой	Нет дан-ных
1	112	84	28	28
2	12 544	7 056	784	784

Как видно из табл. 3, прогнозирование при боковом тренде либо при отсутствии истории продаж возможно на основе анализа данных за 4 недели (28 дней). В этом случае нам не нужно опасаться изменения потенциального спроса со стороны покупателей.

Все полученные расчетные величины округляются до целых значений.

#### Результаты и обсуждение

Результаты данного исследования использованы в 2023 году для сравнительной оценки качества прогноза товарных запасов на нескольких розничных точках в торговой сети по продаже непродовольственных товаров. Применение вероятностных алгоритмов – достаточно сложный процесс, требующий больших вычислительных мощностей. Особенно это становится актуальным при увеличении цикла поставки, например, для цикла поставки один раз в три дня смоделированная выборка будет иметь минимум  $28^3 = 21952$  значения возможных вариантов исходов событий продаж. Поэтому данный вопрос требует отдельного рассмотрения в следующих работах.

Следует отметить, что для эффективного управления товарными запасами рекомендуется устанавливать уровень удовлетворенности потенциального спроса в зависимости от частоты продаж, например, на основе традиционного ABC-анализа:

- товары группы «А» – 95% - 98%;
- товары группы «В» – 85% - 95%;
- товары группы «С» – 70% - 80%.

## ВЫВОДЫ

1. Эффективное прогнозирование запасов товаров спорадического, или редкого, спроса в разрезе торговой точки является одним из факторов обеспечения конкурентоспособности торговых сетей.

2. ABC-анализ в разрезе товарного ассортимента повышает эффективность вероятностных алгоритмов прогноза товарных остатков.

3. Применение статистических методов управления товарными запасами зависит от количества дней, на которое делается прогноз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапинов С.Б., Жукова Я.Э., Сперанский С.Н., Амаржаргалан Т. Повышение эффективности управления товарными запасами на основе создания статистических моделей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 59...64.
2. Ермолаев М.Б., Кадамцева Г.Г., Лапинов С.Б. Эконометрика: учебное пособие. Иваново: Институт бизнеса, информационных технологий и финансов, 2011. 111 с.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
4. Сергеев В.И., Эльяшев И.П. Планирование потребности в предметах снабжения на основе методов прогнозирования // Логистика и управление цепями поставок = Logistics and Supply chain management. М.: Национальная логистическая ассоциация. 2012. № 3 (50). С. 7...16.
5. Стерлигова А.И. Управление запасами в цепях поставок: учебник. М.: ИНФРА-М, 2008. 430 с.
6. Уткин А.И., Сперанский С.Н., Рябова О.Н., Амаржаргалан Т. Кросс-функциональное управление эффективностью бизнес-процессов текстильного предприятия с использованием сбалансированной системы показателей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 42...50.
7. Thomopoulos N. Demand Forecasting for Inventory Control // Springer. 2016. 183 p.
8. Ellram L.M., Tate W.L., Petersen K.J. Offshoring and reshoring: an update on the manufacturing location decision // Journal of Supply Chain Management. Vol. 49, №2, 2013. P. 14...22.
9. Backing Britain A. Manufacturing base for the future. EEF // The Manufacturer's Organisation. 2013, London.
10. Моргунова Ю.Н. Логистические затраты: проблемы определения и учета // Все для бухгалтера. 2018 № 9 (249). – <http://cyberleninka/v/logisticheskie-zatraty-problemy-opredeleniya-iucheta/> (Дата обращения 15.10.2021)
11. Мусеева Н.К. Экономические основы логистики: учеб. пос. М.: ИНФРА-М, 2019. 528 с.
12. Глинская О.С., Скорикова И.С. Классификация логистических затрат в организациях сетевой розничной торговли // Аудит и финансовый анализ. 2019. № 2. С. 48...51.

## REFERENCES

1. *Lapshinov S.B., Zhukova Y.E., Speransky S.N., Amartzhargalan T.* Improving the efficiency of inventory management based on the creation of statistical models // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. № 2 (398). Pp. 59...64.
2. *Ermolaev M.B., Kadomtseva G.G., Lapshinov S.B.* Econometrics: textbook. Ivanovo: Institute of Business, Information Technology and Finance, 2011. 111 p.
3. *Wentzel E.S.* Probability theory: Studies for universities. 6th ed. ster. M.: Higher School, 1999. 576 p.
4. *Sergeev V.I., Elyashevich I.P.* Planning the need for supplies based on forecasting methods // *Logistics and Supply chain management = Logistics and Supply chain management*. Moscow: National Logistics Association. 2012. № 3 (50). Pp. 7...16.
5. *Sterligova A.I.* Inventory management in supply chains: Textbook. M.: INFRA-M, 2008. 430 p.
6. *Utkin A. I., Speransky S. N., Ryabova O. N., Amartzhargalan T.* Cross-functional efficiency management of business processes of a textile enterprise using a balanced system of indicators // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. № 2 (404). Pp. 42...50.
7. *Thomopoulos N.* Demand Forecasting for Inventory Control // Springer. 2016. 183 p.
8. *Ellram L.M., Tate W.L., Petersen K.J.* Offshoring and reshoring: an update on the manufacturing location decision // *Journal of Supply Chain Management*. Vol. 49, №2, 2013. P. 14...22.
9. *Backing Britain* A Manufacturing base for the future. EEF // The Manufacturer's Organisation. 2013, London.
10. *Morgunova Yu.N.* Logistics costs: problems of definition and accounting // *Everything for an accountant*. 2018 No. 9 (249). – <http://cyberleninka/v/logisticheskie-zatrady-problemy-opredeleniya-iucheta/> (Дата обращения 10/15/2021)
11. *Moiseeva N.K.* Economic fundamentals of logistics: study. village. M.: IINFRA-M, 2019. 528 p.
12. *Glinskaya O.S., Skorikova I.S.* Classification of logistics costs in retail chain organizations // *Audit and financial analysis*. 2019. No. 2. Pp. 48...51.

Рекомендована кафедрой экономики и прикладной информатики РЭУ им. Г.В. Плеханова. Поступила 22.11.23.

---

УДК 692.237

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_203

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ  
ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗА СЧЕТ ПРОДЛЕНИЯ ЦИКЛА  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ СБОРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ\***

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AUXILIARY BUILDINGS  
OF THE TEXTILE INDUSTRY BY EXTENDING THE LIFE CYCLE  
OF PREFABRICATED COMPOSITE WALL PANELS**

*В.И. РИМШИН<sup>2</sup>, М.В. ЛУКИН<sup>1</sup>, Д.В. РЕВА<sup>1</sup>, С.И. РОЩИНА<sup>1</sup>  
V.I. RIMSHIN<sup>2</sup>, M.V. LUKIN<sup>1</sup>, D.V. REVA<sup>1</sup>, S.I. ROSHCHINA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
<sup>2</sup>НИУ Московский государственный строительный университет)

(<sup>1</sup>Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
<sup>2</sup>NRU Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: lukin\_mihail\_22@mail.ru, mlisyatnikov@mail.ru, dachibrikin@outlook.com,  
rsi3@mail.ru, v.rimshin@niisf.ru

*Инfiltrация воздуха через ограждающие конструкции оказывает существенное влияние на тепловой баланс здания, в том числе на вспомогательные здания текстильной промышленности. Композитные стеновые панели на деревянном каркасе, изготовленные в заводских условиях, имеют высокие показатели качества, однако технические решения узлов стыковки панелей не отвечают требованиям теплопроводности и герметичности, поэтому конструктивные решения узлов стыковки таких панелей требуют совершенствования. Высокая воздухопроницаемость и наличие тепловых мостов в местах соединений композитных каркасных стеновых панелей оказывают значительное влияние на тепловой баланс здания и его эксплуатационные характеристики. Исследование теплофизических характеристик производилось путем измерения плотности теплового потока в узле сопряжения панелей, а также измерением температуры поверхности по линии, расположенной перпендикулярно стыку. В ходе испыта-*

---

\*Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).



ний построены графики распределения температуры по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуры наружного воздуха, а также установлено, что при испытаниях плотность теплового потока в ребрах с теплоизолирующими включениями меньше по сравнению с цельнодеревянными ребрами от 19% до 52%. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что при сильно отрицательных температурах наружного воздуха температура внутренней поверхности панелей в зоне установки цельнодеревянного ребра может понизиться до температуры выпадения росы. Исследованиями доказано, что установка линейно-дискретных включений в торцевые ребра панелей каркаса стеновых панелей исключает столь значительное снижение температуры, следовательно, данный вид конструктивного решения повышает эксплуатационную надежность конструкций вспомогательных зданий фабрик текстильной промышленности, увеличивая их цикл жизнедеятельности.

*Air infiltration through the enclosing structures has a significant impact on the thermal balance of the building, including auxiliary buildings of the textile industry. Composite wall panels on a wooden frame, manufactured in the factory, have high quality indicators, however, the technical solutions of the panel docking units do not meet the requirements of thermal conductivity and tightness, therefore, the design solutions of the docking units of such panels require improvement. High air permeability and the presence of thermal bridges at the junctions of composite frame wall panels have a significant impact on the thermal balance of the building and its operational characteristics. The study of thermophysical characteristics was carried out by measuring the heat flux density at the junction of the panels, as well as measuring the surface temperature along a line perpendicular to the joint. During the tests, graphs of the temperature distribution over the "inner" surface of the fragment of the enclosing structure were constructed for various types and thicknesses of inserts and outdoor air temperature, and it was also found that during the tests, the heat flux density in the ribs with insulating inclusions is lower compared to solid wood ribs from 19% to 52%. In the course of experimental studies, it was revealed that at very negative outdoor temperatures, the inner surface of the panels in the zone of installation of an all-wood rib can drop to the dew point. Studies have proved that the installation of linear-discrete inclusions in the end edges of the panels of the frame of wall panels eliminates such a significant decrease in temperature, therefore, this type of design solution increases the operational reliability of the structures of auxiliary buildings of textile factories, increasing their life cycle.*

**Ключевые слова:** композитные панели, узловые сопряжения, вспомогательные здания, текстильная промышленность, энергоэффективность, теплоизолирующие рассечки, удельные потери, температура, воздухопроницаемость, тепловой мост, температурные поля, цикл жизнедеятельности.

**Keywords:** composite panels, node junctions, auxiliary buildings, textile industry, energy efficiency, thermal insulation sections, specific losses, temperature, breathability, thermal bridges, temperature fields, the life cycle.

С повышением требований к тепловой защите зданий большое внимание уделяется разработкам новых конструктивных решений, позволяющих повысить теплотехнические характеристики стенового ограждения и здания в целом. Особый интерес представляют здания, возведенные из крупнопанельных элементов высокой степени заводской готовности, жизненный цикл которых может быть продлен за счет повышения энергоэффективности стеновых панелей.

Вопросам исследования тепловых мостов в стенах зданий посвящена работа [1], в которой представлен метод инфракрасной термографии, используемый для визуализации тепловых мостиков, а также подлинный дополнительный экспериментальный метод, позволяющий определить количественные аспекты потерь тепла через оболочку. В работе [2] основные тепловые мосты проанализировали, оптимизировали и использовали для расчета среднего коэффициента теплопередачи стандартного фасадного модуля, сравнивая его с некорректированным значением  $U$ . В работе [3] рассмотрен смешанный метод описания трехмерной трехслойной стены, имеющей те же статические и динамические характеристики, что и многомерный тепловой мост. В [4] предлагается новый активный метод определения характеристик теплового моста. Работа [5] посвящена разработке инновационного подхода к моделированию фактического деформирования границ композитных стен методом конечных элементов, использующим оболочку общей жесткости. В работе [6] выполнено прогнозирование тепловых характеристик и коэффициента теплопропускания в новых стенах. В работе [7] оценивается влияние расположения теплоизоляции на ее эффективность в фасадных стенах из LSF. Для этой цели оцениваются несколько типов стен LSF, а именно холодная, теплая и гибридная конструкция. Также оценивается влияние тепловых мостиков, создаваемых стальными шпильками, на общие тепловые характеристики стен LSF. В статье [8] исследована конструкция с легким стальным каркасом (LSF), а также ее защита от

нежелательных тепловых мостиков, вызванных высокой теплопроводностью стали. В [9] выполнена оценка влияния тепловых мостов на показатели тепловой энергии жилого здания с учетом трех различных возможностей моделирования теплового моста. Результаты показали, что тип моделирования влияет на значения энергопотребления и показатели теплового комфорта в здании. Разница в расходе различных моделей может достигать 20% в зависимости от уровня изоляции здания. В [10] рассматриваются неразрушающие методы оценки теплопропускания и поведения стен.

Численные методы исследования композитных конструкций рассмотрены в работе [11]. Исследования работы композитных конструкций в каркасных деревянных зданиях проведены в работах [12...14]. Инженерные расчеты композитных конструкций рассмотрены в работах [15...18], свойства композиционных материалов – в работах [19, 20]. Технологические факторы, продлевающие цикл жизнедеятельности конструкционных и теплоизоляционных материалов, исследованы в работах [21...24].

На основании обзора и анализа патентов и научных статей можно сделать вывод о том, что методики расчета энергоэффективных узловых сопряжений панелей с деревянным каркасом отсутствуют как в России, так и за рубежом. Это обусловлено малым количеством исследований в данной области, соответственно данная тема изучена недостаточно.

В российских нормах приведена методика расчета сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. С точки зрения теплопроводности спаренная стойка, образованная стыком двух панелей, является линейной неоднородностью материала панели. При расчете приведенного сопротивления теплопередаче необходимо учитывать влияние тепловых мостов.

Применяемые в современной практике узлы стыковки стеновых панелей имеют различные конструктивные решения (рис. 1). Простейшим сопряжением стеновых панелей является прямой стык (рис. 1, а). Воздухопроницаемость такого узла также бу-

дет достаточно высокой. Процессы температурно-влажностных перепадов будут вызывать деформации древесины деталей узлового сопряжения, что в свою очередь будет способствовать образованию зазоров и щелей. Кроме того, прохождение сквозь конструкцию теплого воздуха может осуществляться и через места примыкания обшивки к торцевым стойкам каркаса. Также следует отметить низкую технологичность монтажа стыка. При сборке здания необходимо использовать много дополнительного оборудования в виде струбцин, уровней и т. д. для выставления конструкций в одной плоскости. Следует заметить, что при различных горизонтальных нагрузках на смежные панели крепежные элементы будут испытывать действие поперечных сил, что со временем может привести к разбалтыванию деталей стыка.

Дальнейшее развитие конструктивных решений было в основном направлено на повышение технологичности монтажа и исключение «продуваемости» узловых соединений. Вопрос повышения теплофизических характеристик на современных производствах решается установкой дополнительного слоя утеплителя с наружной стороны панелей, что в целом повышает теплотехническую однородность панели, но приводит к усложнению технологии изготовления и монтажа конструкций и удорожанию строительства в целом. Узловое сопряжение панелей с дополнительным утеплением снаружи приведено на рис. 1, б.

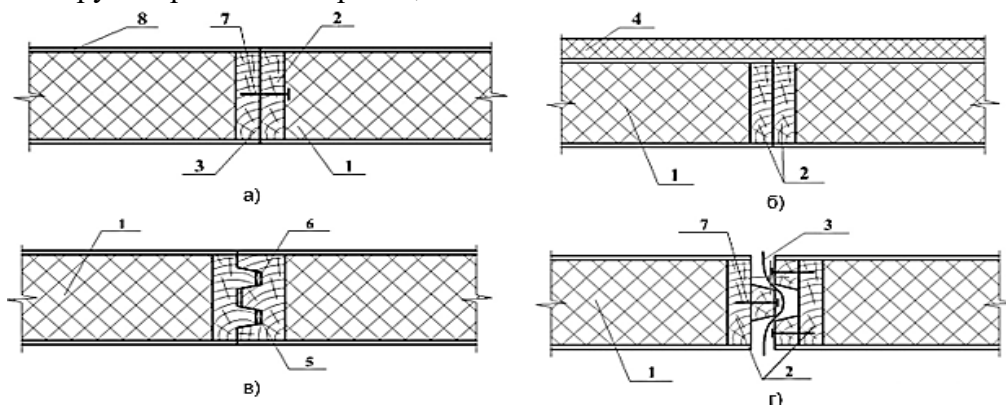


Рис. 1

С целью повышения технологичности монтажа в производстве деревянных каркасно-панельных элементов применяют пазогребневый стык, как показано на рис. 1, в. Такое соединение значительно упрощает технологию монтажа, однако при различных горизонтальных нагрузках на смежные панели гвоздевая нагрузка будет передаваться на гвоздевые соединения. Воздухопроницаемость такого соединения также высокая ввиду большого количества зазоров между элементами стыка.

При конструировании узла сопряжения стеновых панелей на деревянном каркасе необходимо стремиться к уменьшению ширины теплопроводящей части. Этого можно добиться при помощи фрезерной обработки торцевых брусков. Тогда пазогребневое соединение будет цельнодеревянным и с минимальной шириной. В таких пазогребневых соединениях возможна установка нескольких ступеней уплотнителя для обеспечения должной герметичности соединения. Пример таких соединений приведен на рис. 1, г. При пазогребневом соединении возрастает технологичность монтажа. Горизонтальные нагрузки на стеновые ограждения перераспределяются на деревянный каркас и не нагружают крепежные элементы. Такое соединение имеет низкую воздухопроницаемость, однако остается возможность проникновения теплого воздуха между обшивкой и торцевыми ребрами каркаса.

Как видим из анализа, пазогребневое соединение, выполненное из цельнодеревянного профильного бруса, является наиболее оптимальным и ресурсоемким,

однако теплопроводность соединения остается достаточно высокой.

Цель исследования заключается в выявлении экспериментальных зависимостей

плотности теплового потока на внутренней поверхности опытных образцов от коэффициента теплопроводности материала теплоизолирующей вставки, ширины теплоизолирующей вставки и температуры наружного воздуха, а также в установлении характера распределения температуры на внутренней поверхности опытных образцов.

Объектом исследования являются стыки сопряжения стеновых композитных панелей с деревянным каркасом.

Предметом исследования выступает энергоэффективность стыков стеновых панелей.

С целью снижения теплового потока введем в сечение торцевых ребер рассечки из эффективного теплоизолирующего материала, например, экструдированного пенополистирола или пенофола.

Необходимо испытать три образца стыка панелей с различной шириной теплоизолирующего включения  $d$ . Фактор  $d$  учитывает влияние толщины линейно-дискретного включения на теплозащитные свойства узла стыковки и изменяется:  $d = 5 \text{ мм}; 15 \text{ мм}; 25 \text{ мм}$ .

Для достижения различных сочетаний варьируемых параметров в процессе испытаний сменяется материал теплоизолирующего включения  $k$ . Фактор  $k$  учитывает значения теплопроводности материала, применяемого для заполнения линейно-дискретных включений, влияющих на плотность теплового потока узлового сопряжения, которые равны: для воздуха –  $0,08 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ , экструдированного пенополистирола –  $0,031 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ , пенофола –  $0,054 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ .

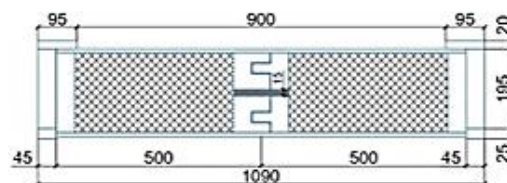
Сменяется также температура «наружного» воздуха  $t$ . Фактор  $t$  учитывает влияние температуры наружного воздуха в зависимости от различных климатических зон на плотность теплового потока, изменяется:  $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}; -20 \text{ }^{\circ}\text{C}; -35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Следует испытать также узловое соединение без теплопроводного включения для определения эффективности принятых конструктивных и технологических решений.

Так как ходом испытаний не предполагается разрушение образца и изменение каких-либо его физико-механических и теплотехнических характеристик, то некоторые образцы можно использовать для эксперимента повторно. Общий вид одного из типов исследуемых панелей представлен на рис. 2, а, разрез по стеновой панели – на рис. 2, б.



а)



б)

Рис. 2

Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик узлов стыковки стеновых панелей с деревянным каркасом проводились с использованием климатической камеры ESPEC (TABA1) (Япония) серии PLATINOS K, марки PSL-4KN. Камера объемом 800 литров предназначена для испытания изделий в режимах высокой и низкой температуры, а также контролируемой относительной влажности. Исследование стеновой панели в камере представлено на рис. 3.





Рис. 3

Измерение плотности теплового потока производилось при помощи прибора ИТП-МГ4.03/5(1) «Поток». Прибор предназначен для измерений и регистрации плотности теплового потока, проходящего через теплообменные поверхности теплоэнергетических объектов, а также температур таких поверхностей и (или) окружающих их газообразных и сыпучих сред.

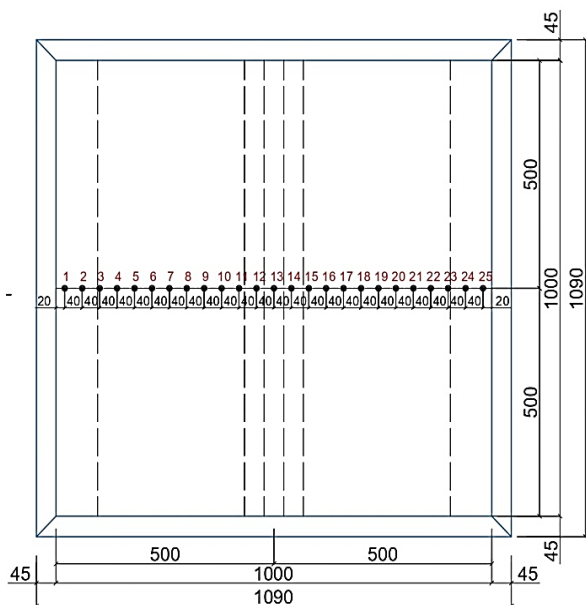


Рис. 4

Измеритель позволяет определять сопротивление теплопередаче и термическое сопротивление ограждающих конструкций

и изделий, а также измерять температуру воздуха внутри и снаружи помещения.

Схема размещения датчиков температуры и теплового потока на конструкции стеновой панели представлена на рис. 4. Размещение датчиков произведено в соответствии с инструкцией на измерительный прибор.

Для уточнения теплотехнических характеристик материалов, используемых при изготовлении опытных образцов, производились замеры их теплопроводности прибором ИТП-МГ4 «250» (рис. 5). Данный прибор предназначен для определения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном режиме.



а)



б)

Рис. 5

Методика планирования эксперимента по изучению теплофизических характеристик узлового сопряжения стеновых пане-

лей на деревянном каркасе выполнена с применением методики комбинационного квадрата. Принятый комбинационный квадрат разработан для трех первичных факторов, каждый из которых состоит из четырех вариантов. Проверка возможности практического применения рационального планирования эксперимента выполнена на практических данных о плотности теплового потока, полученных из экспериментального исследования натуральных фрагментов узловых сопряжений. Теплоизолирующая способность торцевых деревянных брусков зависит от ширины сквозных пазов, создающих линейную теплопроводную неоднородность. Материал заполнения пазов может обладать различным коэффициентом теплопроводности. Также на плотность теплового потока влияет величина разности температур. В разных климатических зонах температура наружного воздуха существенно влияет на эксплуатационные режимы конструкций.

Таким образом, варьируемыми факторами выбраны: ширина дискретно-линейного разрыва, материал заполнения, температура наружного воздуха. За постоянный фактор принимается температура внутреннего воздуха, равная 20 °С. Такое планирование эксперимента позволяет сузить количество проводимых опытов с 27 до 9 при допустимом снижении точности интересующих нас зависимостей вторичных факторов плотности теплового потока от первичных: температуры ( $t$ ), толщины вставки ( $d$ ), теплопроводности ( $k$ ).

В результате получили следующие эмпирические зависимости, найденные по графикам влияния каждого фактора на прочность опытных образцов:

$$f(k) = 34,922k^2 - 4,3717k + 1,1154, \quad (1)$$

$$f(d) = 0,0005d^2 - 0,0204d + 1,1968, \quad (2)$$

$$f(t) = -0,0002t^2 - 0,0158t + 0,7756. \quad (3)$$

По найденным частным уравнениям каждой переменной получена эмпирическая зависимость, учитывающая влияние каждого конструктивного фактора на прочность опытных образцов:

$$q = \Delta_{cp} f(a) f(u) f(t). \quad (4)$$

Полученная многофакторная формула предназначена для определения максимальной плотности теплового потока в зависимости от любого сочетания трех вариативных факторов. Подставляя параметры факторов, получим соответствующее значение плотности теплового потока.

Согласно сетке опытов изготавливались образцы для испытаний. Торцевые ребра стеновых панелей изготавливались из древесины сосны 2-го сорта.

Исследование теплофизических характеристик производилось путем измерения плотности теплового потока в узле сопряжения панелей, а также измерением температуры поверхности по линии, расположенной перпендикулярно стыку, с шагом 50 мм. Согласно методике экспериментальных исследований испытание должно проводиться на 12 образцах. Так как ходом испытаний не предполагалось разрушение образца и изменение каких-либо его физико-механических и теплотехнических характеристик, то некоторые образцы использовались для эксперимента повторно. Таким образом, были изготовлены три образца стыка панелей с различной шириной теплоизолирующего включения: 5, 15 и 25 мм. Также было проведено испытание узлового соединения без теплопроводного включения для определения эффективности принятых конструктивных и технологических решений.

Для достижения различных сочетаний варьируемых параметров в процессе испытаний менялся материал теплоизолирующего включения и температура «наружного» воздуха. Узловое соединение с цельнодеревянными торцевыми стойками испытывалось при различных наружных температурах: -5, -20 или -35 °С.

По результатам исследования построены зависимости плотности теплового потока от варьируемых параметров (рис. 6), а также температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции (рис. 7).

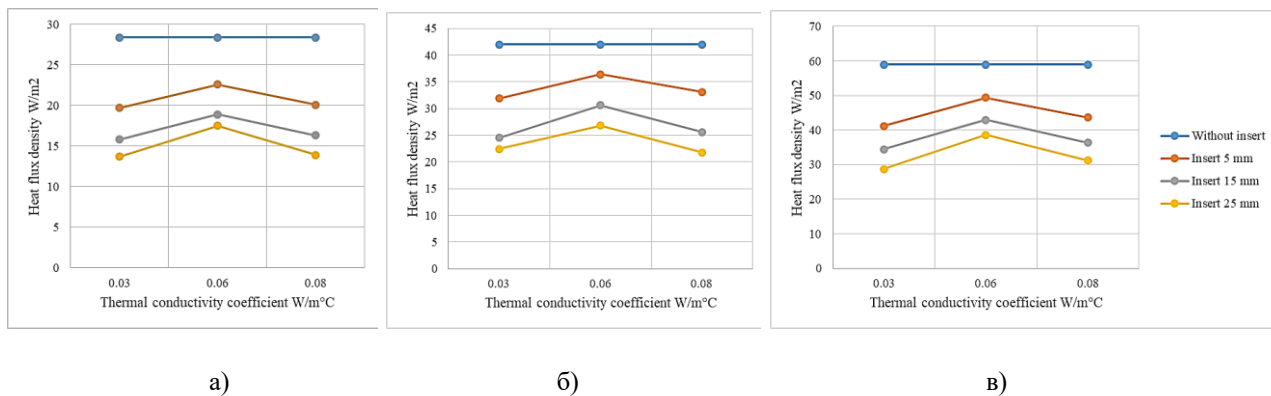


Рис. 6

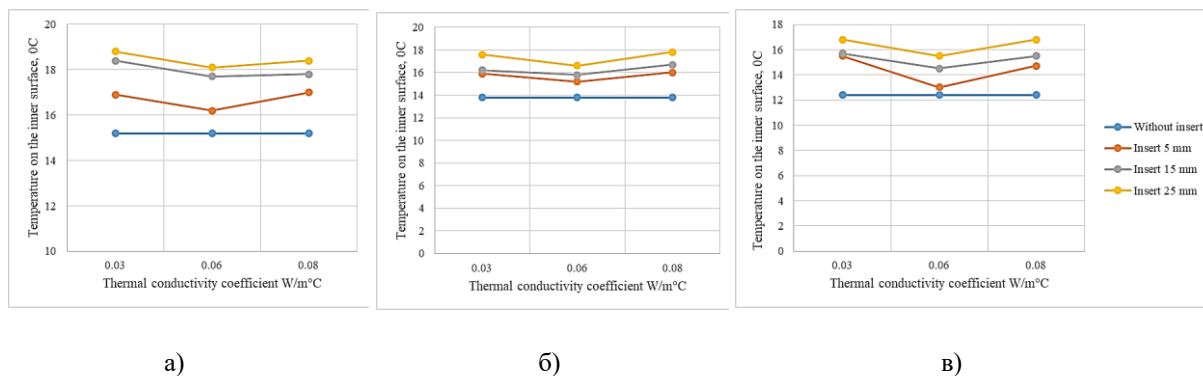


Рис. 7

Числовые значения плотности теплового потока, а также температуры внутренней поверхности ограждающей конструк-

ции для различных сочетаний варьируемых параметров приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Плотность теплового потока, Вт/м <sup>2</sup>	Экструдированный пенополистирол			Пенофол			Воздух			Без вставки	
	Толщина вставки, мм	5	15	25	5	15	25	5	15		25
Температура наружного воздуха, °С	-5	19,7	15,8	13,7	22,6	18,9	17,5	20,1	16,3	13,9	28,4
	-20	31,9	24,5	22,4	36,4	30,6	26,8	33,1	26,6	21,8	42,0
	-35	41,2	34,5	28,7	49,4	43,0	38,6	43,7	36,3	31,2	59,0

Таблица 2

Температура внутренней поверхности, °С	Экструдированный пенополистирол			Пенофол			Воздух			Без вставки	
	Толщина вставки, мм	5	15	25	5	15	25	5	15		25
Температура наружного воздуха, °С	-5	16,9	18,4	18,8	16,2	17,7	18,1	17,0	17,8	18,4	15,2
	-20	15,9	16,2	17,6	15,2	15,8	16,6	16,0	16,7	17,8	13,8
	-35	15,5	15,7	16,8	13,0	14,6	15,5	14,7	15,5	16,8	12,4

В ходе испытаний построены графики распределения температуры по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуре наружного воздуха. В качестве примера приведены графики распределения температуры только при толщинах вставок 5,15 и 25 мм и температуре наружного воздуха -35 °С (рис. 8).

Построены графики распределения теплового потока по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуре наружного воздуха. В качестве примера приведены графики распределения теплового потока только при толщинах вставок 5,15 и 25 мм и температуре наружного воздуха -35 °С (рис. 9).



Анализируя графики на рис. 8 и 9, можно сделать вывод о том, что при увеличении толщины и изменении типа вставки температура на внутренней поверхности повышается, а плотность теплового потока снижается. При отсутствии теп-

лоизолирующей вставки значение температуры на внутренней поверхности стеновой панели и плотности теплового потока практически не изменяется.

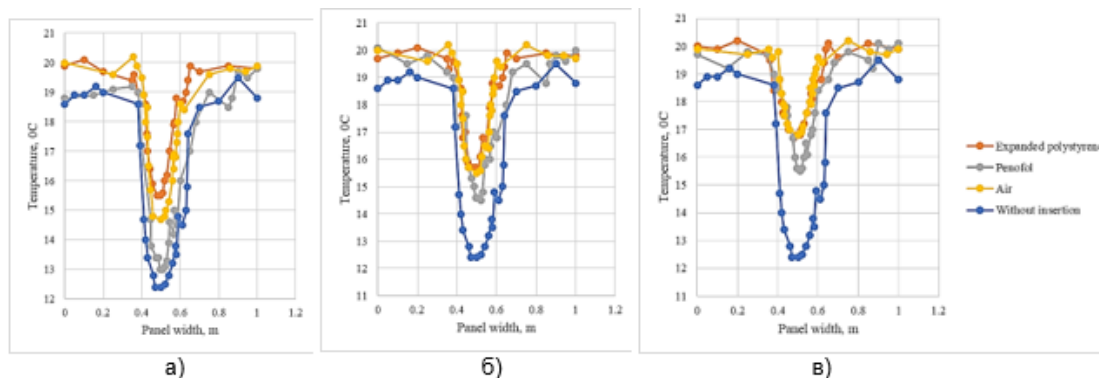


Рис. 8

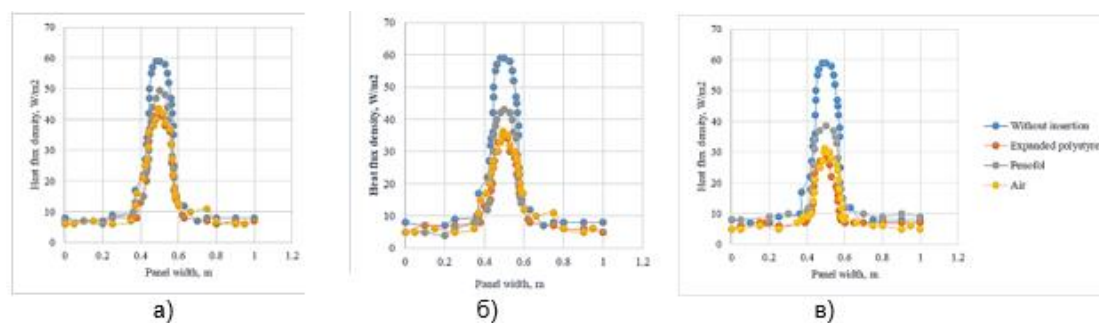


Рис. 9

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментальным путем выявлены зависимости плотности теплового потока, проходящего через линейную теплотехническую неоднородность, от варьируемых факторов, представленных в методике планирования эксперимента.

2. Установлено, что при испытаниях плотность теплового потока в ребрах с теплоизолирующими включениями меньше по сравнению с цельнодеревянными ребрами от 19% до 52%.

3. Установка линейно-дискретных включений в торцевые ребра панелей каркаса исключает столь значительное снижение температуры, следовательно, данный вид конструктивного решения повышает эксплуатационную надежность конструкций.

4. При испытаниях на теплопроводность установлены теплофизические параметры материалов, применяемых для изготовления панелей.

5. В целях продления цикла жизнедеятельности вспомогательных зданий текстильной промышленности, выполненных из сборных композитных панелей, при проведении капитального ремонта стенового ограждения рекомендовано устройство дополнительных линейно-дискретных теплоизолирующих включений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Залевский Л.Д. Экспериментальная и численная характеристика тепловых мостиков в стенах сборных зданий // Преобразование энергии и управление. 2010. № 12 (51). С. 2869...2877.

2. Santos P. Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches // *Journal of Building Engineering*. 2019. № 25.
3. Tadeu A. Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain // *Energy and Buildings*. 2011. № 12 (43). P. 3685...3695.
4. François A. In situ measurement method for the quantification of the thermal transmittance of a non-homogeneous wall or a thermal bridge using an inverse technique and active infrared thermography // *Energy and Buildings*. 2021. 233. P. 110633. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110633
5. Larbi A.B. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // *Energy and Buildings*. 2005. № 9 (37). P. 945...951. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.12.013
6. Sun K., Zheng C., Wang X. Thermal performance and thermal transmittance prediction of novel light-gauge steel-framed straw walls // *Journal of Building Engineering*. 2023. №67. P. 105973.
7. Roque E., Santos P. The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position // *Buildings*. 2017. № 1 (7).
8. Santos P., Mateus D. Experimental assessment of thermal break strips performance in load-bearing and non-load-bearing LSF walls // *Journal of Building Engineering*. 2020. № 32.
9. Perera D. Energy performance of fire rated LSF walls under UK climate conditions // *Journal of Building Engineering*. 2021. №44.
10. Soares N. Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review // *Energy and Buildings*. 2019. №182. P. 88...110.
11. Gribanov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. P. 033039.
12. Sergeev M.S., Lukin M.V., Rimshin V.I., Zdravovic N. Multi-span composite beam // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Issue "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020" 2020. P. 012058.
13. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings // *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018, 13(11). P. 3851...3856.
14. Рощина С.И., Лисятников М.С., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Лукин М.В. Применение высоких деревоклееных балок в покрытии зданий текстильных цехов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. №5 (265). С. 267...271.
15. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.A., Kurbatov V.L., Roschina S.I. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020". 2020. P. 012022.
16. Rimshin V.I. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. (182). P. 577...587.
17. Rimshin V.I. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. (182). P. 55...73.
18. Rimshin V.I. Influence of Different Types of Aggregates on the Structural Properties of Fiber-Reinforced Concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. (403 LNNS). P. 1467...1476.
19. Kornilova N.L. etc. How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // *Industrial Crops and Products*, 2023, 192, 116088.
20. Румянцев Е.В. Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. (6). С. 21...29.
21. Коновалова В.С., Румянцева В.Е. Получение светящихся фосфатных покрытий на стали холодным методом // *Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2021 (ICMTMTE 2021): матер. междунар. науч.-техн. конф.* 2022. С. 66...70.
22. Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А., Румянцева В.Е. Технологические факторы и свойства теплоизоляционных плит из растительных наполнителей // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. С. 185...197.
23. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Loginova S.A., Goglev I.N. Experimental research of the process bio-corrosion of cement concrete for inspection of building structures // *Lecture notes in civil engineering*. 2021. (147). P. 168...175.
24. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The Influence of Structure Formation Conditions of the Composite on the Mass Transfer Processes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "Far East Con 2019"*. 2020. T. 753. С. 042047.

## REFERENCES

1. Zalewski L.J. Experimental and numerical characterization of thermal bridges in prefabricated building walls // *Energy Conversion and Management*. 2010. № 12 (51). P. 2869...2877.

2. Santos P. Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches // Journal of Building Engineering. 2019. (25).
3. Tadeu A. Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain // Energy and Buildings. 2011. № 12 (43). P. 3685...3695.
4. François A. In situ measurement method for the quantification of the thermal transmittance of a non-homogeneous wall or a thermal bridge using an inverse technique and active infrared thermography // Energy and Buildings. 2021. (233).
5. Larbi A.B. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // Energy and Buildings. 2005. № 9 (37). P. 945...951.
6. Sun K., Zheng C., Wang X. Thermal performance and thermal transmittance prediction of novel light-gauge steel-framed straw walls // Journal of Building Engineering. 2023. №67. P. 105973.
7. Roque E., Santos P. The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position // Buildings. 2017. № 1 (7).
8. Santos P., Mateus D. Experimental assessment of thermal break strips performance in load-bearing and non-load-bearing LSF walls // Journal of Building Engineering. 2020. № 32.
9. Perera D. Energy performance of fire rated LSF walls under UK climate conditions // Journal of Building Engineering. 2021. №44.
10. Soares N. Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review // Energy and Buildings. 2019. №182. P. 88...110.
11. Griбанov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 033039.
12. Sergeev M.S., Lukin M.V., Rimshin V.I., Zdravovic N. Multi-span composite beam // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Issue "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020" 2020. P. 012058.
13. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018, 13(11). P. 3851...3856.
14. Roshchina S.I., Lisyatnikov M.S., Melekhov V.I., Labudin B.V., Lukin M.V. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. №5 (265). P. 267...271.
15. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.A., Kurbatov V.L., Roschina S.I. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020". 2020. P. 012022.
16. Rimshin V.I. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. (182). P. 577...587.
17. Rimshin V.I. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. (182). P. 55...73.
18. Rimshin V.I. Influence of Different Types of Aggregates on the Structural Properties of Fiber-Reinforced Concrete // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. (403 LNNS). P. 1467...1476.
19. Kornilova N.L. etc. How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // Industrial Crops and Products, 2023, 192, 116088.
20. Rummyantsev E.V. The use of textile industry waste in the production of building composites. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. (6), P. 21...29.
21. Konovalova V.S., Rummyantseva V.E. Obtaining luminous phosphate coatings on steel by cold method // International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. ICMTME 2021. 2022. P. 66...70.
22. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Rummyantseva V.E. Processing factors and properties of thermal insulation boards made of plant fillers // Russian forestry journal. 2022. P. 185...197.
23. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Loginoва S.A., Goglev I.N. Experimental research of the process bio-corrosion of cement concrete for inspection of building structures // Lecture notes in civil engineering. 2021. (147). P. 168...175.
24. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The Influence of Structure Formation Conditions of the Composite on the Mass Transfer Processes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "Far East Con 2019". 2020. Vol. 753. P. 042047.

Рекомендована кафедрой строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 10.07.23.

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТПРОЕКТОВ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ\*

### ON THE ISSUE OF INCREASING FIRE SAFETY OF FACILITIES WHEN IMPLEMENTING INVESTMENT PROJECTS IN THE TEXTILE INDUSTRY

A.A. ТИТУНИН<sup>1</sup>, Т.Н. ВАХНИНА<sup>1</sup>, И.В. СУСОЕВА<sup>1</sup>, В.Е. РУМЯНЦЕВА<sup>2</sup>, Е.А. БАРЗЫГИН<sup>2</sup>

A.A. TITUNIN<sup>1</sup>, T.N. VAHNINA<sup>1</sup>, I.V. SUSOEVA<sup>1</sup>, V.E. RUMYANTSEVA<sup>2</sup>, E.A. BARZYGIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Костромской государственный университет,  
<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет)

(<sup>1</sup>Kostroma State University,  
<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: a\_titunin@ksu.edu.ru; i.susoeva@yandex.ru

*В статье рассмотрены вопросы развития инфраструктуры в зоне действия промышленных предприятий, в том числе текстильных, и обозначена одна из причин низкого спроса на здания из древесных материалов – их горючесть. Представлены результаты исследования показателей горючести материалов, склеенных из древесины хвойных и мягколиственных пород. Испытания образцов трехслойных клееных конструкций проводились в установке «керамическая труба» по ГОСТ Р 53292-2009. Выявлена закономерность потери массы при горении от средней ширины годичного слоя древесины. Установлено, что наименьшую потерю массы при горении имеют образцы трехслойных клееных материалов с наружными слоями из древесины сосны и внутренним слоем из осины. На основе анализа работ российских и зарубежных ученых выдвинута гипотеза о возможности снижения горючести клееных материалов с ламелями из осины и сосны в сравнении с показателями горючести клееных материалов только из сосны. Намечено направление дальнейших исследований по снижению горючести клееных материалов с наружными слоями из осиновой древесины, обработанной огнезащитными составами.*

*The article considers the issues of infrastructure development in the zone of industrial enterprises, including textile enterprises, and identifies one of the reasons for the low demand for buildings made of wood materials which is their combustibility. The results of combustibility research of materials glued from coniferous and soft-leaved wood are presented. Tests of samples of three-layer glued structures were carried out in the installation "ceramic pipe" according to GOST R 53292-2009. The law-uniformity of mass loss during combustion from the average width of the annual layer of wood has been revealed. It is established that the smallest loss of mass during combustion has samples of three-layer glued materials with outer layers of pine wood and inner layer of aspen. On the basis of the analysis of Russian and foreign scientists' works the hypothesis of the possibility to*

---

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ и администрации Костромской области в рамках научного проекта № 22-29-20267.

*reduce the combustibility of glued materials with lamellas made of aspen and pine in comparison with the combustibility indicators of glued materials made of pine only was put forward. The direction of further research on reduction of combustibility of glued materials with outer layers made of aspen wood treated with fire retardant compositions is planned.*

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, клееная древесина, сосна, осина, ширина годичных слоев, потеря массы при горении, горючесть материалов.

**Keywords:** fire safety, glued wood, pine, aspen, width of annual wood layers, mass loss during combustion, combustibility of building materials.

Современное состояние легкой промышленности характеризуется продолжающимся ростом инвестиций, что показывает стремительное развитие отрасли. По официальным данным, общий объем инвестиционной массы в 2023 г. по сравнению с 2022 г. вырос с 27,6 до 44,8 млрд руб. Во многих регионах России выполняются предпроектные проработки (8 проектов на 12,3 млрд руб.); три проекта с объемом инвестиций 5,4 млрд руб. находятся на стадии проектирования; 23 проекта, на которые выделено 26,7 млрд руб., находятся в стадии подготовки к строительству либо строительства и модернизации [1]. При этом, как отмечают эксперты, перспективы легкой промышленности России напрямую зависят от того, будут ли развиваться текстильные предприятия в регионах [2]. Поэтому в ЦФО ведутся работы по строительству новых и модернизации существующих текстильных предприятий. В сентябре 2021 г. в Ивановской области создана особая экономическая зона промышленно-производственного типа «Иваново», на начальном этапе которой запланировано пять инвестиционных проектов с общим объемом инвестиций 8 млрд руб. Один из проектов – индустриальный парк «Родники», который предполагает расширение и благоустройство территории с целью создания максимально комфортных условий для строительства новых предприятий на территории области. На новых производствах будет создано около 2 100 рабочих мест, что предполагает строительство не только объектов

производственной инфраструктуры, но и современных общественных и жилых зданий [1]. Современное строительство в первую очередь связано с применением экологически безопасных и энергоэффективных материалов из древесины.

Деревянное домостроение пока занимает недостаточный объем в жилищном строительстве – 10 % в общем объеме, причем наибольшая доля производства деревянных домов в Северо-Западном регионе, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [3]. Среди прочих причин это связано с сомнениями относительно пожаробезопасности деревянных зданий, возникающими из-за того, что древесина является горючим материалом. Однако пожаробезопасность деревянных зданий в большей степени обусловлена решениями в области материаловедения и инженерными решениями на стадии строительства. Задача проектировщиков и технологов – повышение огнезащищенности древесных строительных материалов с целью обеспечения эксплуатационных характеристик материалов из древесины на уровне остальных материалов, применяемых в строительстве.

Для предприятий текстильной промышленности характерно наличие внутри производственных помещений большого количества веществ растительного происхождения, которые при возникновении пожара внутри зданий способствуют интенсивному росту температуры [4], что может привести к снижению несущей способности элементов конструкций и их об-

рушению. Повысить предел огнестойкости несущих конструкций здания, а значит, и увеличить время, необходимое для эвакуации людей, материалов и оборудования, можно за счет конструктивных мер. Известно, что предел огнестойкости современного строительного материала в виде CLT-панелей (от англ. Cross-Laminated Timber) составляет до 120 мин, что значительно выше, чем у железобетонных или стальных конструкций [5]. Поэтому обоснованный выбор материалов из древесины с учетом особенностей ее макроструктуры и свойств для создания безопасных и экологических конструкций производственных и гражданских зданий является актуальной задачей.

Alastair Bartlett с командой исследователей считает, что действующие руководства по противопожарному проектированию изделий из инженерной древесины в значительной степени носят регламентированный характер. Однако очевидно, что имеющийся большой объем научных знаний может быть использован для решения вопросов пожарной безопасности, связанных с использованием древесины в строительстве. Но существует ключевой пробел в знаниях, и если его ликвидировать, появится возможность повысить эффективность и внедрить инновации при проектировании деревянных клееных строительных конструкций [6].

В России за последние годы уже реализованы несколько инновационных проектов в сфере деревянного домостроения: например, в Новосибирской области возвели первую многоэтажку на 16 квартир с каркасом из LVL-бруса (от англ. Laminated Veneer Lumber – пиломатериал из слоеного шпона); в г. Сокол Вологодской области сданы в эксплуатацию два четырехэтажных 32-квартирных дома из CLT-панелей. Эти два вида строительных материалов наряду с клееным профилированным брусом и деревянными клееными конструкциями являются самыми распространенными как у нас в России, так и за рубежом. Задача обеспечения пожарной безопасности материалов и конструкций из них является одним из условий успешной реализации

инвестиционных проектов, направленных на развитие текстильной промышленности.

Вопросами исследования пожароопасных свойств древесных материалов и разработки эффективных способов снижения их пожарной опасности занимались отечественные и зарубежные ученые: Абдургимов И.М., Асеева Р.М., Баратов А.Н., Бахман Н.Н., Берлин А.А., Бирюков В.Г., Кодолов В.И., Кошмаров Ю.А., Леонович А.А., Молчадский И.С., Покровская Е.Н., Серков Б.Б., Таубкин С.И., Халтуринский Н.А., Хрулев В.М., Di Blasi, Parker W.J., Kashiwagi T., Tran H.C., Hilado C.J., Tewarson A., De Ris J., Roberts A. и др.

К преимуществам использования деревянных клееных материалов можно отнести и то, что элемент деревянной клееной конструкции (клееная балка) имеет предел огнестойкости в 1,4 раза больше, чем деревянный брус такого же сечения [7].

Значительно влияет на показатели горючести деревянной клееной конструкции (ДКК) породный состав древесины. По мнению J.A. Shukors с коллегами, технические характеристики сосновой древесины близки к минимальному критерию при испытании на огнестойкость [8].

По данным Р.М. Асеевой с коллегами, скорость обугливания древесины лиственных пород в условиях стандартного пожара на 10–20 % меньше, чем данный показатель для хвойных пород [9].

Эти данные коррелируют с результатами исследования О.В. Беззапонной с коллегами. Ими определена скорость потери массы при огневом воздействии. По двум первым максимальным ДТГ-пикам для древесины осины и сосны они составляют 1,63; 22,37 и 1,89, 25,83 %/мин соответственно [10].

Основные факторы породного состава древесины, оказывающие существенное влияние на показатели горючести материала, – плотность и химический состав. Плотность древесины сосны и осины сопоставима. Однако плотность ранней и поздней древесины является разной [11], а также возрастная редукция ранней и поздней древесины для данных пород различается.

Для сосны ширина поздней зоны с возрастом изменяется незначительно, находится почти на постоянном уровне, поэтому уменьшение ширины годичного слоя обусловлено уменьшением ранней древесины. Для осины как рассеянно-сосудистой породы возрастная редукция ширины годичного слоя происходит за счет поздней древесины [12].

Доля лигнина в древесине сосны составляет 25,5 %, для осины – 21,8 % [13]. Таким образом, учитывая полученное R.H. White [14] уравнение высшей теплоты полного сгорания древесины, Дж/кг:

$$Q_v = 17612,472 + 85,364X_{л}, \quad (1)$$

где  $X_{л}$  – содержание лигнина, %, можно прогнозировать снижение горючести клееных материалов с ламелями из осины и сосны в сравнении с показателями горючести ДКК из сосны. Учитывая особенности макростроения осиновой древесины, можно также предположить, что при использовании огнезащитных средств деревянные клееные конструкции с наружными слоями из осины позволят снизить пожарную опасность зданий, планируемых к строительству в ходе реализации инвестиционных проектов в сфере промышленности, в том числе текстильной.

Данная научная гипотеза проверена в исследовании, выполненном на кафедре

ЛДП КГУ, г. Кострома. В работе оценено влияние сочетания хвойной и осиновой древесины на показатели горючести материала. Научная проблема, на решение которой направлено исследование, – разработка рационального подбора схем склеивания для деревянных клееных конструкций с ламелями из осины. В производственных условиях были изготовлены клееные балки по трем схемам склеивания:

- схема 1 «сосна – осина – сосна»;
- схема 2 «осина – сосна – осина»;
- схема 3 «сосна – сосна – сосна».

Сырьем служили осиновые и сосновые заготовки сечением 20×100 мм, длиной 2,0 м, которые склеивали меламино-мочевино-формальдегидным клеем с отдельным нанесением смолы и отвердителя. Удельный расход клея составлял 0,24 кг/м<sup>2</sup> на каждую сторону при двустороннем нанесении, давление запрессовки образцов 1 МПа, время до отверждения 5 дней.

Для определения показателей горючести в соответствии с нормативными требованиями [15] испытания проводились в установке «керамическая труба» по ГОСТ Р 53292-2009. Из балок по каждой схеме склеивания были вырезаны по 10 образцов размером 30×30×150 мм. Для каждого образца замерялась средняя ширина годичных слоев. Результаты определения средней ширины годичных слоев  $b$ , мм, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Схема	Средняя ширина годичных слоев $b$ , мм
1 «сосна – осина – сосна»	4,5; 3,0; 1,2; 4,6; 4,0; 3,1; 2,2; 1,9; 1,5; 2,0
2 «осина – сосна – осина»	2,7; 1,9; 3,5; 2,2; 1,4; 1,7; 1,9; 3,8; 3,8; 2,2
3 «сосна – сосна – сосна»	3,2; 3,5; 3,0; 4,2; 1,7; 3,8; 2,2; 1,9; 2,1; 3,4

При испытаниях образцы кондиционировались, взвешивались, помещались в установку с фиксированной температурой (200 ± 5) °С. Образцы держали в пламени горелки 120 с; в ходе опытов отмечалась максимальная температура дымовых газов. После выключения газа фиксировали

время самостоятельного горения, тления и определяли массу образца после горения и тления.

Результаты определения показателей горючести приведены в табл. 2. Зависимости потери массы от средней ширины годичных слоев приведены на рис. 1-3.



Таблица 2

Образец	Температура дымовых газов, °С	Время самостоятельного горения, с	Время тления, с	Потеря массы, %
Схема 1 «сосна – осина – сосна»				
1.1	245	45	30	14,17
1.2	216	16	28	9,13
1.3	252	45	60	13,32
1.4	300	105	20	17,70
1.5	227	73	15	10,37
1.6	218	35	60	7,44
1.7	218	90	60	12,25
1.8	220	105	50	10,40
1.9	227	90	30	14,63
1.10	242	80	40	10,58
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	12,00
Коэффициент вариации			V	25,2
Схема 2 «осина – сосна – осина»				
2.1	215	25	90	8,48
2.2	273	65	120	20,39
2.3	249	123	90	17,65
2.4	238	85	120	14,96
2.5	273	105	30	23,73
2.6	285	80	25	23,92
2.7	307	70	60	17,28
2.8	310	135	90	18,70
2.9	298	130	120	20,71
2.10	306	68	120	18,21
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	18,40
Коэффициент вариации			V	24,3
Схема 3 «сосна – сосна – сосна»				
3.1	264	150	210	15,84
3.2	321	120	120	19,03
3.3	258	130	90	14,80
3.4	292	335	30	21,46
3.5	300	280	50	22,46
3.6	317	140	60	21,38
3.7	306	130	70	18,82
3.8	322	160	60	19,95
3.9	302	130	80	21,95
3.10	310	140	70	16,57
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	19,23
Коэффициент вариации			V	14,1

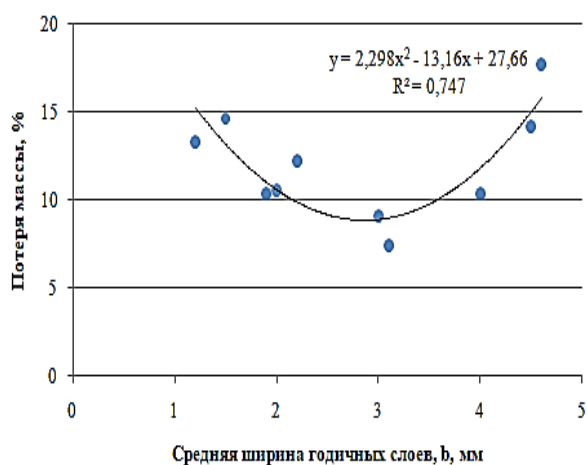


Рис. 1

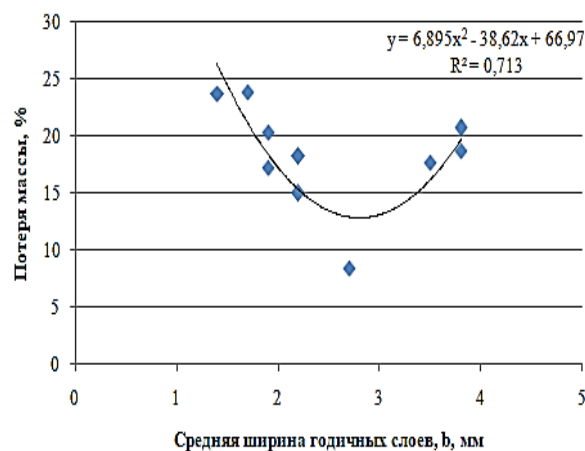


Рис. 2

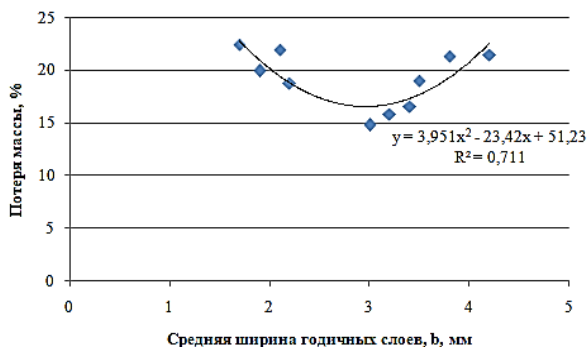


Рис. 3

По показателям горючести материала рациональной является схема склеивания 1 «сосна – осина – сосна». У образцов при такой схеме склеивания среднее значение потери массы при горении составило 12 %, минимальное значение показателя 7,44 %. Время самостоятельного горения образцов материала не превышает 1 мин 45 с, время тления – не более 1 мин. Максимальная температура дымовых газов 300 °С. При уменьшении средней ширины годичных слоев до 1,5 мм потеря массы при огневом воздействии на образец увеличивается. Причиной этого является то, что с уменьшением ширины годичных слоев увеличивается число вертикальных смоляных ходов в древесине сосны и в процессе термического разложения выделяется большее количество летучих продуктов горения. При увеличении ширины годичных слоев до 4,5...4,6 мм потеря массы образцов ДКК при горении растет. Увеличение доли менее плотной ранней зоны древесины сосны, с одной стороны, должно препятствовать продвижению температурного фронта вглубь материала, поскольку менее плотная древесина имеет коэффициент теплопроводности меньше, чем более плотная. Однако в случае огневого воздействия менее плотная древесина, содержащая большее количество пор и пустот, заполненных воздухом, облегчает распространение температурного фронта вглубь материала.

В ходе исследований выявлено нивелирующее воздействие осины в среднем слое, что подтверждается уменьшением потери массы образцов при огневом

воздействии по сравнению с результатами испытаний образцов, полученных из конструкций 2 и 3 схемы склеивания. Коэффициент теплопроводности сосны 0,15...0,24 Вт/(м·К), для осины значение показателя составляет 0,17...0,19 Вт/(м·К).

Таким образом, неоднозначные результаты, полученные в ходе исследований, согласуются с работами других ученых [8-10]. При расположении ламелей осины в наружных слоях ДКК увеличивается время тления материала и соответственно потеря массы при горении. Однако, учитывая, что осина отличается низким тепловыделением при горении [16] и более однородным строением годичных слоев, чем древесина хвойных пород, можно прогнозировать снижение горючести ДКК с наружными слоями из древесины осины при условии их обработки огнезащитными составами. Данное предположение потребует в ближайшей перспективе экспериментальной проверки с использованием нескольких видов огнезащитных составов.

## ВЫВОДЫ

1. В связи с планируемой реализацией инвестиционных проектов в текстильной промышленности и возросшим вниманием проектировщиков к вопросам пожарной безопасности отмечается увеличение объемов строительства промышленных и гражданских зданий с применением современных строительных материалов из клееной древесины. Применение таких материалов в ограждающих и несущих конструкциях благодаря более высокому пределу огнестойкости по сравнению с металлическими или железобетонными конструкциями оправдано как при строительстве гражданских зданий, так и в производственных зданиях текстильных предприятий, в которых очень высока вероятность высокой скорости распространения пожара из-за наличия большого количества горючих материалов растительного происхождения.

2. Исходя из анализа отечественного и зарубежного опыта установлено, что в отличие от цельной древесины деревянные

клееные конструкции в виде LVL-бруса и CLT-панелей имеют более высокий предел огнестойкости (до 120 мин), при этом горючесть деревянных клееных конструкций во многом зависит от породы древесины, чередования хвойной и мягколиственной древесины в многослойных конструкциях, а также макроструктуры древесины.

3. Поскольку древесина осины обладает меньшим тепловыделением и низкой теплопроводностью, ее применение в наружных или внутренних слоях многослойных клееных конструкций может обеспечить снижение их горючести в целом.

4. В ходе экспериментальных исследований установлено, что минимальные значения потери массы при горении имеют образцы клееной древесины со средней шириной годичных слоев 3 мм. При уменьшении средней ширины годичных слоев до 1,5 мм, а также при ее увеличении до 4,6 мм потеря массы при огневом воздействии на образец увеличивается. Данный вывод указывает на необходимость более тщательного контроля качественных параметров древесины, используемой для создания несущих и ограждающих конструкций зданий с повышенной пожарной опасностью, к которым относятся объекты текстильных предприятий.

5. Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности применения осинового материала в клееных конструкциях в качестве одного из альтернативных способов повышения пожарной безопасности гражданских и производственных зданий, в том числе планируемых к строительству в ходе реализации инвестиционных проектов в текстильной промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инвестиционные проекты // Цифровая платформа. – [https://investprojects.info/sectors/textiles#investments\\_region\\_container](https://investprojects.info/sectors/textiles#investments_region_container) (дата обращения: 10.10.2023).
2. Жакевич А.Г. Проблемы и перспективы развития легкой промышленности в регионах Российской Федерации // Вестник Международного института экономики и права. 2014. №4 (17). С. 69...71. – <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-legkoj-promyshlennosti-v-regionah-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 05.10.2023).

regionah-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 05.10.2023).

3. Новый взгляд на дом из дерева. Деревянное домостроение в России. – <https://tia.ru/20180907/1510231385.html> (дата обращения: 21.09.2023).

4. Циркина О.Г., Спиридонова В.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А. К вопросу обеспечения пожарной безопасности предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 177...182.

5. Трейбакс Е.А. Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // Инновации в науке. Научный журнал. 2017. № 10 (71). С. 68...69.

6. Bartlett A., Hadden R. M., Bisby L. A. A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction // Fire technology. 2018. Vol. 55(5). P. 1...49.

7. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М., 2010. 262 с.

8. Shukor J.A., Razak M.Ah.A., Hassan A., Jamian R., Rani A.M.A. Determining the alternative type of wood for class a fire crib test according to UL 2166. – Advanced Materials and Engineering Technologies. Advanced Structured Materials, vol 162. Springer, 2022. Pp 19...27. – DOI:10.1007/978-3-030-92964-0\_3.

9. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Dordrecht: Springer, 2014. 280 p.

10. Беззапонная О.В. и др. Исследование пожарной опасности древесины различных пород методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 43...50.

11. Алешина Л.А., Мелех Н.В., Фофанов А.Д. Исследования структуры целлюлоз и лигнинов различного происхождения // Химия растительного сырья. 2005. №3. С. 31...59.

12. Косиченко Н.Е., Киселева А.В., Снегурева С.Н. Закономерности формирования высококачественной древесины // Лесотехнический журнал. 2011. №4. С. 68...72.

13. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

14. White R.H. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood // Wood and fiber science. 1987. Vol. 19 (4). P. 446...452.

15. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. М.: Изд-во стандартов, 2008. 19 с.

16. Марьяндышев П.А. Теплоэнергетические основы использования древесного биотоплива: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбПУ, 2019. 198 с.

#### REFERENCES

1. Investment projects / Digital Platform. Access mode: [https://investprojects.info/sectors/textiles#investments\\_region\\_container](https://investprojects.info/sectors/textiles#investments_region_container) (date of reference: 10.10.2023).

2. *Zhakevich A.G.* Problems and prospects for the development of light industry in the regions of the Russian Federation // *Bulletin of the International Institute of Economics and Law*. 2014. №4 (17). С.69...71. – <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-legkoy-promyshlennosti-v-regionah-rossiyskoy-federatsii> (date of reference: 05.10.2023).
3. A new look at a wooden house. Wooden house construction in Russia. – <https://ria.ru/20180907/1510231385.html> (date of reference: 21.09.2023).
4. *Tsirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.K., Syrbu S.A.* On the issue of ensuring fire safety of enterprises textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 6 (402). P. 177...182.
5. *Treybaks E.A.* Utilization of unique properties of glued wood CLT panels in the construction of public buildings // *Innovacii v nauke. Nauchnyj zhurnal*. 2017. № 10 (71). P. 68...69.
6. *Bartlett A., Hadden R. M., Bisby L.A.* A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction // *Fire technology*. 2018. Vol. 55(5). P. 1...49.
7. *Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B.* Wood combustion and its fire hazardous properties: monograph. M., 2010. 262 p.
8. *Shukor J.A., Razak M.A.H.A., Hassan A., Jamian R., Rani A.M.A.* Determining the alternative type of wood for class a fire crib test according to UL 2166. – *Advanced Materials and Engineering Technologies. Advanced Structured Materials*, vol 162. Springer, 2022. – DOI:10.1007/978-3-030-92964-0\_3.
9. *Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B.* Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Dordrecht: Springer, 2014. 280 p.
10. *Bezzaponnaya O.V. etc.* Study of the fire hazard of wood of various species using thermal analysis methods // *Tehnosfernaya bezopasnost*. 2021. No. 3 (32). P. 43...50.
11. *Aleshina L.A., Melech N.V., Fofanov A.D.* Studies of the structure of celluloses and lignins of various origins // *Himiya rastitelnogo sirya*. 2005. No. 3. P. 31...59.
12. *Kosichenko N.E., Kiseleva A.V., Snegireva S.N.* Patterns of formation of high-quality wood // *Lesotekhnicheskii jurnal*. 2011. No. 4. P. 68...72.
13. *Ugolev B.N.* Wood science with the basics of forest commodity science. M.: MGUL, 2007. 351 p.
14. *White R.H.* Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood // *Wood and fiber science*. 1987. Vol. 19 (4). P. 446...452.
15. GOST 30244-94. Construction materials. Flammability Test Methods. M.: Izdatelstvo standartov, 2008.
16. *Maryandyshev P.A.* Thermal energy fundamentals of using wood biofuels: dis. ... doctor. tech. sciences. St. Petersburg: SPbGLTU, 2019. 198 p.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств КГУ. Поступила 13.11.23.

УДК 7.036+746

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_222

**УЗЕЛ КАК ХУДОЖЕСТВЕННО-ВЫРАЗИТЕЛЬНАЯ ФОРМА В ИСКУССТВЕ,  
АРХИТЕКТУРЕ И ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННОМ ТЕКСТИЛЕ**

**KNOT AS AN ARTISTIC AND EXPRESSIVE FORM IN ART,  
ARCHITECTURE AND THREE-DIMENSIONAL TEXTILES**

*Н.Н. ЦВЕТКОВА*

*N.N. TSVETKOVA*

(Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная  
академия имени А.Л. Штиглица)

(Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design)

E-mail: ts\_natali@mail.ru

*Узел – древнейшая трехмерная текстильная форма. Существует множество примеров использования узла в различных видах искусства – живописи, архитектуре, художественном текстиле. Исследование художниками традиционных технологий узловязания способствовало развитию объемно-пространственных текстильных форм во второй половине XX в. в период «пластического взрыва».*

*The knot is the oldest three-dimensional textile form. There are many examples of the use of the knot in various types of art – painting, architecture, art textiles. The artists' research of traditional knotting technologies contributed to the development of three-dimensional textile forms in the second half of the twentieth century during the “plastic explosion” period.*

**Ключевые слова:** узел, история искусства, художественный текстиль, объемно-пространственный текстиль, «пластический взрыв».

**Keywords:** knot, art history, art textiles, three-dimensional textiles, “plastic explosion” period.

Во второй половине XX в. состоялась так называемая «вторая весна» шпалеры, в результате которой появились объемно-пространственные текстильные формы –

арт-объекты, инсталляции, мягкая скульптура. Подобные произведения относятся к искусству «пластического взрыва». Развитие объемно-пространственного текстиля

второй половины XX в. имеет ряд предпосылок. Одной из них является интерес художников к традиционным технологиям, предшествовавшим ткачеству, среди которых следует особо отметить узловязание.

Узел, на наш взгляд, можно назвать простейшей объемной текстильной формой [1, с. 47]. Современные исследователи считают, что узлы были знакомы человеку со времен нижнего палеолита [2, с. 4]. До настоящего времени сохранилось крайне мало подобных артефактов, что объясняется хрупкостью материалов, из которых они были изготовлены [3, с. 31...32]. Однако существуют многочисленные изображения узлов в объектах изобразительного и прикладного искусства и архитектуры.

Одним из наиболее «популярных» узлов Древнего мира был прямой узел, получивший название «узел Геракла» («узел Геркулеса») (рис. 1), который часто отождествлялся со знаменитым гордиевым узлом [4, с. 399].

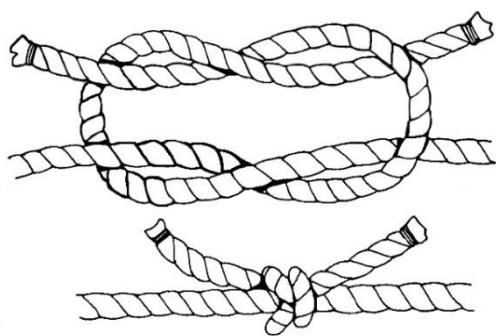


Рис. 1

Исследователь А.К. Елкина отмечала, что «узел Геракла» был символом объединения Верхнего и Нижнего Египта [5, с. 67]. Изображения богов Сета и Гора, связывающих «узелом Геракла» папирус (символ Верхнего Египта) и лотос (символ Нижнего Египта), часто встречаются в египетском искусстве – росписях и барельефах. Растения завязаны узлом вокруг изображения легких и трахеи, образуется иероглиф «шемаа», который означает «объединять» [6, с. 64-65].

Согласно предположению Р. Хиггиса, из Египта «узел Геракла» попал в античную Грецию [10, с. 154]. Данный узел

упоминается в греческих мифах: титан Кронос и его сестра Рея, приняв обличие змей, соединились в виде «узла Геракла», что привело к появлению на свет греческих богов [8, с. 21-22]. Древнегреческий герой Геракл часто изображался в шкуре убитого им немейского льва, завязанной именно таким узлом.

Изображение «узла Геракла» часто встречается в ювелирных изделиях эллинистического периода Греции. Исследователь Е.М. Малкова писала, что «сложные диадемы с геракловым узлом в центре, подобные им браслеты появляются начиная примерно с 300 г. до н.э. и затем существуют в течение двух следующих столетий» [8, с. 374]. Другой исследователь, М. Пфроммер, отмечал, что во времена Филиппа II и Александра Македонского «узел Геракла» доминировал в мире эллинистических украшений. Объяснение подобной популярности М. Пфроммер видел в широком распространении иконографии Геракла в течение всего периода царствования македонских династий [7, с. 22].

Среди многочисленных эллинистических ювелирных украшений, содержащих изображения «узла Геракла», хотелось бы отметить артефакты, хранящиеся в коллекции Государственного Эрмитажа. Это, например, золотая гибкая диадема, найденная при раскопках Херсонеса, время создания которой 300-280 гг. до н.э.; ожерелье, относящееся ко II в. до н.э., из Пантикапея; золотая диадема из Артюховского кургана на Таманском полуострове, датированная концом III – началом II в. до н.э. [9, с. 377, 379, 383] (рис. 2).



Рис. 2



Артюховская диадема содержит изображение «узла Геракла», внутри которого размещена композиция – орел, несущий младенца. Есть предположение, что диадема «являлась не просто драгоценностью, но сакральным предметом, скорее всего, атрибутом жрицы» [10, с. 58]. Это предположение подтверждается фактом, что «узел Геракла» считался магическим, прежде всего обладающим защитными свойствами. Так, Плиний Старший в «Естественной истории» рекомендовал перевязывать раны подобным узлом [4, с. 399]. Защитные свойства «узла Геракла» отмечаются и в культуре Древней Руси. Подобный узел, используемый в качестве защитного символа, можно видеть на русских иконах XII–XIII веков, изображающих Дмитрия Солунского и Георгия Победоносца (их плащи завязаны «узлом Геракла») [11, с. 231].

Интересным примером использования «узла Геракла» в архитектуре являются парные колонны Миланского аббатства Кьярвалле, основанного в XII в. В средней части они перевязаны «узлом Геракла».



Рис. 3

«Узел Геракла» нашел применение в объектах объемно-пространственного тек-

стиля второй половины XX в. (периода «пластического взрыва»). Одна из ведущих художников этого направления Шейла Хикс занималась изучением традиционной технологии узловязания, посещала Мексику, исследуя текстильное искусство доколумбовых цивилизаций. В процессе поездки Ш. Хикс были созданы многочисленные текстильные образцы, так называемые «минимы», которые, несомненно, повлияли на ее дальнейшее творчество. В своих произведениях Ш. Хикс часто обращалась к узловязанию. Композиционной доминантой одной из ее работ 1960-х гг. стал «узел Геракла» (рис. 3).

Произведение было выполнено в технике макраме, в центральной части от общего фонового полотна были отделены более узкие полосы ткани, которые и соединялись в форме древнего символа – «узла Геракла» [12].

Еще одной текстильной формой, широко представленной в искусстве и архитектуре разных народов, является «вечный узел» («бесконечный узел», «узел счастья», «узел жизни и смерти») (рис. 4).



Рис. 4

Можно отметить сходное значение такого узла у народов Запада и Востока. Одна из модификаций «вечного узла» напоминает крест. В дохристианский период крест символизировал огонь и солнце, являясь солярным символом. В Китае крестообразный «вечный узел» называли «лотосом», его также связывали с древним солярным символом – свастикой [11, с. 230]. Подобный символ был изображен на статуэтке китайского буддийского божества Гуань-инь (Авалокитешвара), созданной во



времена правления династии Суй (581-618) [13, с. 95...96].

Изображения «вечного узла» можно видеть в орнаментальном кресте X в., найденном в Новгороде [14, с. 92]; резных капителях Борисоглебского собора XII века в Чернигове, бронзовых арках XIII века, обнаруженных при археологических раскопках древнерусского города Вщиж (Брянская область); серебряных браслето-наручах XII-XIII вв. из Киева; алебастровых сосудах XIV века из Золотой Орды; убранстве славянских рукописей XV века [5, с. 66...67].

Примером, иллюстрирующим использование «вечного узла» в архитектуре, являются капители колонн Борисоглебского собора (Чернигов, XII в.). Исследуя этот памятник древнерусского зодчества, Н.В. Холостенко описал найденные фрагменты капителей и сделал рисунки изображений, показывающих, что в одном случае фигуры животных соединены «вечным узлом», в другом изображен трехпетлевой узел [15, с. 198]. М.М. Савенкова предположила, что в России «“вечный узел”... обозначал дуализм двух начал, выражающийся в сопоставлении пространственно-временных и социальных характеристик: счастье – несчастье, жизнь – смерть» [11, с. 233].

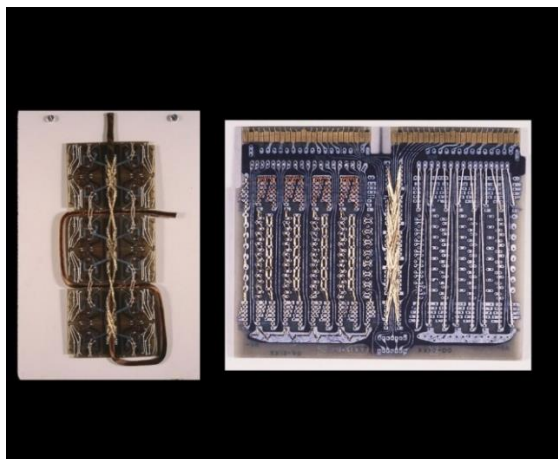


Рис. 5

Реминисценции «вечного узла» можно видеть в текстильных скульптурах знаменитой художницы-текстильщицы периода «пластического взрыва» Франсуаз Грос-

сен. В 1974 г. ею была создана серия миниатюрных текстильных объектов. Центральные части произведений «Конструкция с контурными пластинами А» и «Конструкция 2А» (рис. 5) имели переплетение, напоминающее по форме «вечный узел» [16].

Тканые скульптуры Кей Секимачи «Амийоз» (1965), «Нобори» (1971) своей формой также напоминают переплетение линий «вечного узла» [17, с. 121; 18, с. 179].

Особого внимания заслуживают сложные декоративные узлы. Изображения такого рода узлов и изделий на их основе встречаются в искусстве разных народов с древнейших времен. На ассирийских барельефах, хранящихся в коллекции Британского музея, можно видеть узлы различных типов в одежде людей, а также в конской упряжи. Так, рельеф стены с изображением духов защитников, датированный 645-640 гг. до н.э., содержит изображение мужчины, костюм которого включает пояс, украшенный двумя крупными декоративными узлами. Узел, изображенный на рельефе, по форме напоминает стилизованный двойной трехпетлевой узел [19, с. 140].

Изготовление декоративных узлов широко практиковалось в Китае. По сохранившимся росписям можно сделать вывод, что декоративные узлы часто становились деталями интерьера. На портрете императрицы Чжэн династии Сун (960-1279) ее трон украшен четырьмя головами драконов, к которым прикреплены крупные сложные декоративные узлы [13, с. 100...101].

Изображения узлов встречаются в работах художников-абстракционистов XX века. Хотелось бы особо отметить произведение «Узел» знаменитой текстильщицы Баухауза Анни Альберс, чье творчество, на наш взгляд, стало одной из предпосылок развития объемно-пространственного текстиля второй половины XX в. Работа «Узел» была создана в 1947 г. в технике гуаши. Изображенные на картине желтая, красная и синяя нити переплетались между собой, образуя сложную запутанную форму.

В период «пластического взрыва» сложные декоративные узлы применяли в своих произведениях Франсуаз Гроссен, Ольга де Амарал, Роберт Рохм и др. В пространственных инсталляциях Р. Рохма узлы выполняли роль акцентных точек; в работе Ф. Гроссен «Контакт» являлись самостоятельными художественно-выразительными элементами. Интересна работа О. де Амарал «Пространственная каллиграфия» (1974-1975). Здесь узлы выполнены из обкрученных разноцветными нитями шнуров. Узлы как бы соединяют два мира: верхний – светлый, состоящий из шнуров серебристо-серого и золотисто-охристого цветов, и темный нижний, решенный в фиолетово-пурпурном цвете с добавлением темно-бирюзового [20, с. 38].

## ВЫВОДЫ

Основываясь на приведенных примерах использования узлов в искусстве, архитектуре и художественном текстиле, можно сделать вывод, что узел – древнейшая трехмерная текстильная форма, имеет широкое распространение в различных областях творчества. Изучение древнейшей технологии узловязания художниками XX века способствовало появлению новых трехмерных форм в текстиле и развитию искусства «пластического взрыва».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цветкова Н.Н. Текстиль в пространстве предметной культуры // Предметные формы в системе культуры: монография. СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2016. С. 37...68.
2. Warner C., Bednarik R.G. Pleistocene knotting. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1996. P. 3...18.
3. Van der Kleij G. On knots and swamps: Knots in European Prehistory. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 31...42.
4. Van de Griend P. On the True Love Knot. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 397...418.
5. Елкина А.К. Исторические и теоретические принципы построения плетеного орнамента // Художественное наследие: хранение, исследование,

реставрация: сб-к статей. М.: ВНИИР, 1983. №8 (38). С. 56...74.

6. Wendrich W. Ancient Egyptian Rope and Knots / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 43...68.

7. Higgs R. Greek and Roman Jewellery. London: Methuen and Co. 1961. 350 p.

8. Pfrommer M. Greek Gold from Hellenistic Egypt. Los Angeles: Getty Pbl, 2001. 75 p.

9. Малкова Е.М. Гераклов узел: об одном декоративном мотиве в ювелирном искусстве (на примере золотых диадем) // Археологический альманах. № 21. Изобразительное искусство в археологическом наследии / гл. ред. А.В. Колесник. Донецк: Лебедь, 2010. С. 373...385.

10. Шауб И.Ю. Золотая диадема из Артюховского кургана // Записки Института истории материальной культуры. СПб.: Институт истории материальной культуры РАН, 2016. № 14. С. 58...68.

11. Савенкова М.М. Узелковое плетение в магической практике славян // Известия ВГПУ. Воронеж: ВГПУ, 2014. №1 (262). С. 229...234.

12. Cygnarowicz K. Featured Artist: Sheila Hicks. – [https://modernmacrame.com/blogs/journal/featured-artist-sheila-hicks?comment=5273976845&utm\\_medium=social&utm\\_source=pinterest#comments](https://modernmacrame.com/blogs/journal/featured-artist-sheila-hicks?comment=5273976845&utm_medium=social&utm_source=pinterest#comments) (дата обращения 28.09.2023).

13. Chen L. H. S. The Art of Chinese Knotwork: a Short History. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 1996. P. 89...106.

14. Савенкова М.М. «Веревочный» орнамент на Волхове // Родина. М.: Редакция «Российской газеты», 2009. №9. С. 91...93.

15. Холостенко Н.В. Исследования Борисоглебского собора в Чернигове // Советская археология. 1967. № 2. С. 188...210.

16. Françoise Grossen. – <http://www.francoisegrossen.com/site-specific> (дата обращения 29.09.2023).

17. Fiber: Sculpture 1960–present / curator and editor Porter J. Boston: DelMonico Books Prestel and Institute of Contemporary Art Publ. 2014. 256 p.

18. Verlet P., Florisoone M., Hoffmeister A., Tabard F. La Tapisserie. Histoire et Technique du XIV-e au XX-e Siecle. Italie.: Edita. 1977. 231 p.

19. Ashley C. W. The Ashley book of knots. London-Boston: Faber and Faber Limited. 1993. 638 p.

20. Cotton G. E., Junet M. From Tapestry to Fiber Art. The Lausanne Biennials 1962-1995. Milano: Skira. Foundation Toms Pauli. 2017. 223 p.

## REFERENCES

1. Czvetkova N.N. Tekstil` v prostranstve predmetnoj kul`tury` // Predmetny`e formy` v sisteme kul`tury`: monografiya. SPb.: LGU im. A.S. Pushkina, 2016. P. 37...68.

2. Warner C., Bednarik R. G. Pleistocene knotting. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 1996. P. 3...18.
3. Van der Kleij G. On knots and swamps: Knots in European Prehistory. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 31...42.
4. Van de Griend P. On the True Love Knot. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 1996. P. 397...418.
5. Elkina A. K. Istoricheskie i teoreticheskie principy` postroeniya pletenogo ornamenta // Xudozhestvennoe nasledie: xranenie, issledovanie, restavraciya: sbornik statej. M.: VNIIR, 1983. №8 (38). P. 56...74.
6. Wendrich W. Ancient Egyptian Rope and Knots / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 43...68.
7. Higgs R. Greek and Roman Jewellery. London: Methuen and Co. 1961. 350 p.
8. Pfrommer M. Greek Gold from Hellenistic Egypt. Los Angeles: Getty Pbl, 2001. 75 p.
9. Malkova E.M. Geraklov uzal: ob odnom dekorativnom motive v yuvelirnom iskusstve (na primere zoloty`x diadem) // Arxeologicheskij al`manax. № 21. Izobrazitel`noe iskusstvo v arxeologicheskom nasledii / gl. red. A. V. Kolesnik. Doneczk: Lebed`, 2010. P. 373...385.
10. Shaub I.Yu. Zolotaya diadema iz Artyuxovskogo kurgana // Zapiski Instituta istorii material`noj kul`tury`. SPb: Institut istorii material`noj kul`tury` RAN, 2016. № 14. P. 58...68.
11. Savenkova M.M. Uzelkovoe pletenie v magicheskoy praktike slavyan // Izvestiya VGPU. Voronezh: VGPU, 2014. №1 (262). P. 229...234.
12. Cygnarowicz K. Featured Artist: Sheila Hicks. – [https://modernmacrame.com/blogs/journal/featured-artist-sheila-hicks?comment=5273976845&utm\\_medium=social&utm\\_source=pinterest#comments](https://modernmacrame.com/blogs/journal/featured-artist-sheila-hicks?comment=5273976845&utm_medium=social&utm_source=pinterest#comments) (Accessed 28 September 2023).
13. Chen L.H.S. The Art of Chinese Knotwork: a Short History. / History and Science of Knot. / edited by Jonh C. Turner, Pieter van de Grient. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. P. 89...106.
14. Savenkova M.M. «Verevochny`j» ornament na Volxove // Rodina. M.: Redakciya «Rossijskoj gazety`», 2009. №9. P. 91...93.
15. Xolostenko N.V. Issledovaniya Boriso-glebskogo sobora v Chernigove // Sovetskaya arheologiya. 1967. № 2. P. 188...210.
16. Françoise Grossen. – <http://www.francoisegrossen.com/site-specific> (Accessed 29 September 2023).
17. Fiber: Sculpture 1960–present / curator and editor Porter J. Boston: DelMonico Books Prestel and Institute of Contemporary Art Publ. 2014. 256 p.
18. Verlet P., Florisoone M., Hoffmeister A., Tabard F. La Tapisserie. Histoire et Technique du XIV-e au XX-e Siecle. Italie.: Edita. 1977. 231 p.
19. Ashley C. W. The Ashley book of knots. London-Boston: Faber and Faber Limited. 1993. 638 p.
20. Cotton G. E., Junet M. From Tapestry to Fiber Art. The Lausanne Biennials 1962-1995. Milano: Skira. Foundation Toms Pauli. 2017. 223 p.

Рекомендована кафедрой художественного текстиля Санкт-Петербургской государственной художественно-промышленной академии им. А.Л. Штиглица. Поступила 10.10.23.

## СПЕЦИФИКА И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕЧАТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ РИСУНКОВ С 60-х ГОДОВ XX ВЕКА

### SPECIFICS AND METHODS OF DESIGNING OF FOREIGN PRINTED TEXTILE DRAWINGS SINCE THE 1960s OF THE TWENTIETH CENTURY

*Е.В.МОРОЗОВА, А.В.ЩЕРБАКОВА*

*E.V. MOROZOVA, A.V. SHCHERBAKOVA*

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

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

E-mail: morosowa8888@mail.ru; angel\_sherb@mail.ru

*Шестидесятые годы XX столетия являются периодом возникновения новых художественных направлений в искусстве, таких как поп-арт и оп-арт, в которых молодежная культура оказала значительное влияние на появление новых мотивов и трактовок в текстильном орнаменте. В статье приводится классификация ведущих мотивов, появившихся в зарубежном печатном текстиле в 60-х годах XX века, анализируются методы и принципы проектирования рисунков, приводятся таблицы, наглядно иллюстрирующие способы работы над эскизами тканей и организации орнаментальных мотивов.*

*The 1960s of the twentieth century are a period of the emergence of new artistic trends in art, such as pop art and op art, where youth culture had a significant impact on the emergence of new motifs and interpretations in textile ornament. The article classifies the leading motifs that appeared in printed textiles in the 60s of the twentieth century abroad, analyzes the methods and principles of designing drawings, provides tables illustrating how to work on sketches of fabrics and the organization of ornamental motifs.*

**Ключевые слова:** классификация мотивов зарубежных печатных тканей, методы и принципы проектирования печатного текстиля.

**Keywords:** classification of motifs of foreign printed fabrics, methods and principles of printed textiles design.

Работ, освещающих принципы и методы построений текстильных орнаментов, сравнительно немного. В середине 1950-х работу по этой теме опубликовал С.И. Илларионов [1]. В 1960-х годах выходят книги М.Н. Никитина [2], В.М. Шугаева [3]. В 1980-х годах издаются учебные пособия В.Н. Козлова [4], С.А. Малаховой [5], исследования Т.А. Журавлевой [6], А.А. Щипакиной. Существенный вклад в отечественную теорию и практику текстильного орнамента внесли публикации Н.П. Бесчаст-

нова [7, 8]. В 2019 году выходит монография Е.В. Морозовой [9]. Однако все перечисленные авторы строят свои исследования на материале отечественных текстильных предприятий, рассматривают схемы построения и уделяют внимание классификации орнаментальных мотивов именно отечественных текстильных рисунков. Зарубежные авторы, такие, как Sue Prichard, Jackson, Lesley, посвятили свои исследования влиянию общих художественных направлений на характер печатных рисун-

ков и не занимались классификацией мотивов, их также не интересовали принципы организации орнаментов.

Анализ принципов и методов художественного проектирования печатного текстильного рисунка 60-х годов XX века позволяет вести исследование в рамках системно-исторического метода.

Художественные направления XX века и молодежная культура обогатили текстильный орнамент 1960-х годов новыми невиданными ранее орнаментальными мотивами, расширили круг тем и цветовую палитру рисунков. Классификация этих мотивов приведена ниже.

Геометрические мотивы – один из популярных видов орнамента 1960-х годов. Это и орнаменты из геометрических форм ярких цветов в регулярной и свободной «рассадке», и иллюзорные композиции в стиле оп-арта. Отличительной особенностью геометрических орнаментов является цветовое решение, в котором можно выделить два направления: ахроматическое и хроматическое. Хроматические решения представлены яркими, жизнерадостными цветосочетаниями.

Цветы – постоянный источник вдохновения для текстильного дизайна 1960-х годов. Типология растительного орнамента делится на четыре группы: плоские, стилизованные растительные формы, отражающие мировоззрение хиппи; орнамент в стиле ар-нуво; мотивы, использующие стилистику стран Востока; мотивы, сохраняющие реалистичность изображения.

Поп-арт стер границы между элитарной и массовой культурой. В 1960-е годы был популярным и предметный орнамент. Стиль поп-арт стал источником образов и тем для печатных рисунков.

Поп-арт стер границы между элитарной и массовой культурой. В 1960-е годы были популярны изображения и предметов быта, характерных для того времени. Стиль поп-арт стал источником образов и тем для печатных рисунков.

Зарубежный сюжетно-тематический орнамент 1960-х годов имеет несколько источников. Он включает в себя рисунки на тему освоения космоса и стилизованные

пейзажи, имитирующие лоскутную технику, которые являются прообразом одежды хиппи, а также искусство ар-нуво.

Появление фольклорного, или этнического, орнамента в молодежной одежде объясняется обращением к истокам и эзотерическим практикам, которые привели к увлечению восточной культурой, выразившемуся в появлении на тканях орнаментов американских индейцев, китайских, индийских, индонезийских мотивов и др.

Абстрактный орнамент делится на три группы: рисунки, созданные под влиянием абстрактной живописи, создающие впечатление калейдоскопа; рисунки в стиле ар-деко; рисунки, созданные под влиянием психоделики. Для всех групп абстрактного орнамента характерна декоративность и плоскостное решение мотивов.

Текстильные печатные рисунки 1960-х годов могли объединять мотивы из разных орнаментальных групп, что приводило к появлению комбинированных орнаментов. Известный художник и историк текстильного орнамента Рудин Н.Г. называет такой орнамент смешанным, так как он «сочетает различные по характеру формы: растительные с геометрическими и другими элементами» [10, с. 39].

Постоянная борьба идей между крупными дизайнерскими домами создает обилие стилевых направлений в зарубежной моде. «Если же в Европе становятся модными мотивы других континентов, то они все равно «сплавляются» в процессе проектирования в чисто европейское направление» [11, с. 27].

За рубежом существовали организации, которые отвечали за общее развитие дизайна во всех отраслях. Они следили за развитием науки и технологий, организовывали выставки и фестивали, публиковали статьи о новых направлениях (например, в Великобритании такой организацией был Совет промышленного дизайна, ColD). Фирмы, занимающиеся производством текстиля, сами были заинтересованы в выпуске современной, пользующейся спросом продукции.

Так, работа лондонской компании «Ткани Хилл» («Neal Fabrics») заключа-

лась в покупке эскизов тканей у дизайнеров и внедрении их в производство. Том Уорthingтон (Tom Worthington), управляющий директор и ведущий дизайнер этой компании (1948–1971 гг.), работал с разными дизайнерами, в их числе Барбара Браун (Barbara Brown), Майкл О'Коннел (Michael O'Connell), Дороти Карр (Dorothy Carr), Роджер Николсон (Roger Nicholson) и Фей Хильер (Fay Hillier), Натали Гибсон (Natalie Gibson). Например, известный дизайн 1950-х «Calyx» британской художницы Люсьен Дэй производился компанией «Бернард Уордл» («Bernard Wardle»).

Другая фирма – «David Whitehead Ltd» – создавала современные дизайны для массового потребителя. По словам Люсьен Дэй, это была «фирма, которая порвала с традицией и подарила массовому рынку веселые, красочные и творческие проекты. Фирма «David Whitehead Ltd» стала синонимом современного печатного рисунка, навсегда покончив с эпохой невыразительных цветочных и стилизованных под «народные» печатных орнаментов» [12]. С этой фирмой сотрудничали такие молодые дизайнеры: Джон Пайпер (John Piper), Роджер Николсон (Roger Nicholson), Теренс Конран (Terence Conran), Мариан Малер (Marian Mahler).

Лондонская фирма «Либерти» («Liberty») под руководством Артура Стюарта (Arthur Stewart-Liberty) сотрудничала с Жаклин Гроаг (Jacqueline Groag), Пэтом Альбеком (Pat Albeck), Хильдой Дуркин (Hilda Durkin), Мартином Брэдли (Martin Bradley), Бернардом Невиллом (Bernard Nevill) и др.

Дизайнеры не были привязаны к производству. Так, Жаклин Гроаг (Jacqueline Groag), закончив Высшую школу прикладного искусства в Вене, создала собственную клиентуру и работала по заказам магазинов «Дэвид Уайтхэд» («David Whitehead»), «Либерти» («Liberty's»), «Хил и сыновья», или «Хилз» («Heal and Sons»), и отделения дизайна Ассоциации американских художников (Associated American Artists).

Такие фирмы, как «Ткани Дэвида Уайтхеда», «Хилз», «Либерти», делали упор на сотрудничество с молодыми дизайнерами, разрабатывающими идеи для потребителя высокого класса. Главной целью фирм был поиск новаторских решений, что способствовало бурному развитию новых направлений в текстильном дизайне. Помимо именитых художников, работающих на моду, были дизайнеры, создающие рисунки для массового потребителя и малоизвестных производителей текстиля, подражающие популярным рисункам влиятельных дизайнеров: Люсьен Дэй, Эмилио Пуччи.

«Смелая и прогрессивная политика в области дизайна, которую проводили такие текстильные фирмы, как «Хилз», «Либерти», химическая компания по производству синтетических волокон «Бритиш Селаниз» и торговая фирма «Дэвид Уайтхэд», получила признание Совета промышленного дизайна (CoID)» [12].

Каждый художник находил собственный творческий метод проектирования, основываясь на своих навыках и мировоззрении, эстетическом вкусе и взгляде на объект. Одни подражали работам известных художников (например, «Консервная банка от кэмпбелловского супа» (1962 г.), другие цитировали Виктора Вазарелли, Бриджет Райли, Ричарда Анушкевича, вдохновлялись творчеством абстракционистов Пауля Клее, Джексона Поллока, Фрэнка Стелы или представителя фовизма, известного изысканиями в передаче эмоционального настроения через цвет и форму, Анри Матисса, возвращались к стилям прошлых эпох, повторяя графику Обри Бердслея и Альфонса Мухи. Например, Бернард Невилл придерживался законов классической композиции в творчестве, обращаясь к стилю ар-деко и графике иллюстратора Обри Бердслея.

Художники работали и по собственным проектам. Яркий пример – творчество Зандры Роудс. Благодаря сохранившимся зарисовкам можно видеть стадии ее проектной работы.

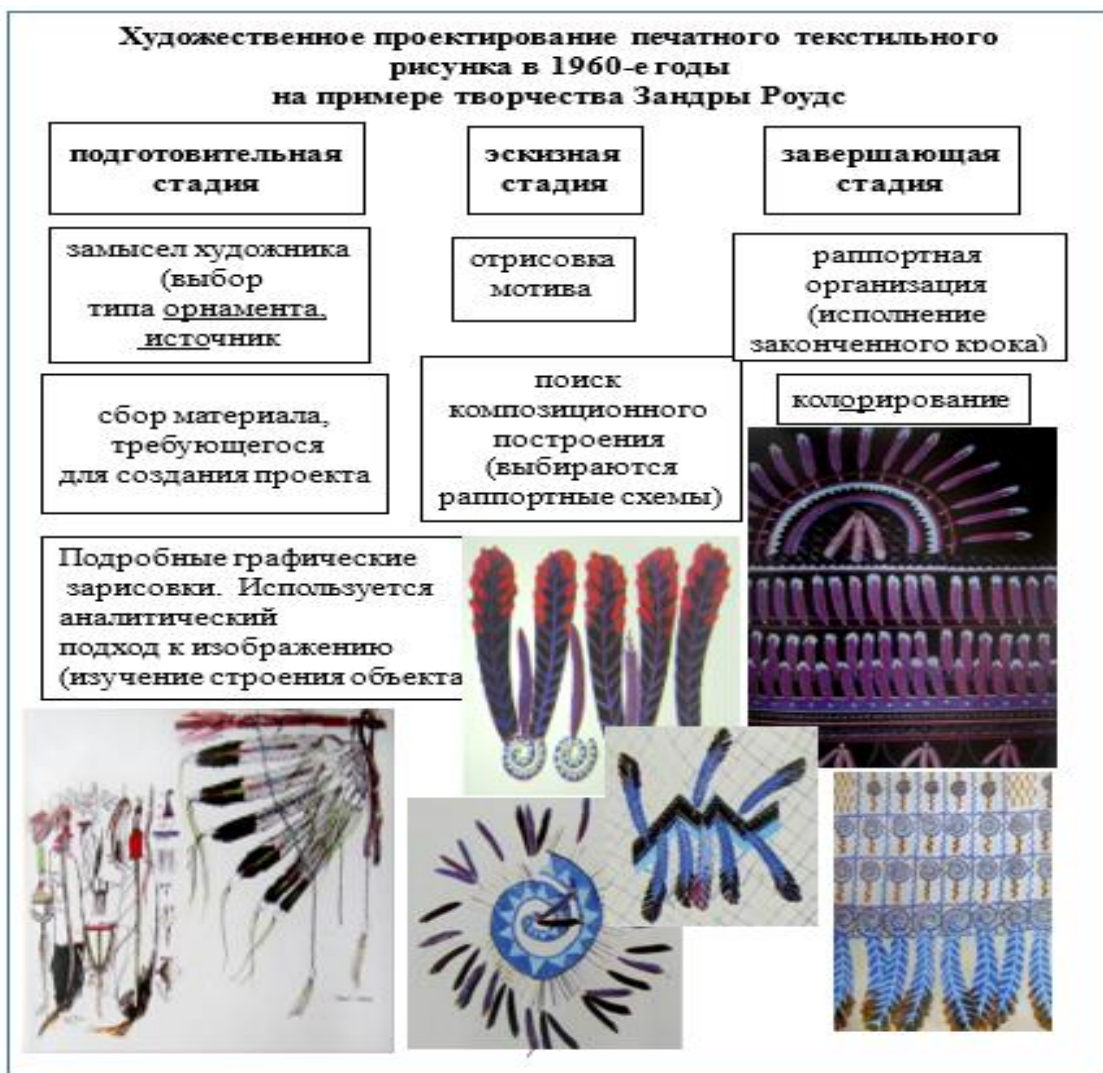


Первая стадия – подготовительная, «включает в себя изучение и сбор материала, требующегося для создания проекта» [8, с. 297]. Это зарисовки и проработка их фрагментов, поиск интересного решения мотива. Первичное исследование – один из наиболее важных инструментов дизайнера, оно оживляет и вдохновляет творческое направление каждой коллекции. Вторая стадия – эскизная, поиск композиционного построения. Третья стадия – завершающая, прорабатывается окончательный рисунок и варианты колорита.

Рассмотрим подготовительную работу Зандры Роудс. В табл. 1 показаны несколько эскизов из альбома дизайнера, созданных под впечатлением от предметов культуры американских индейцев. Представлено несколько работ – от исследо-

вательских зарисовок до готовой ткани (коллекция «Индийское перо»). Подготовительная работа включала в себя подробную графическую зарисовку. На предварительной зарисовке видно, что основной целью является изучение строения объекта, разбор его отдельных составляющих, пластический анализ форм, изображение объекта в разных ракурсах. Дизайнер с анатомической точностью выявляет особенности строения головных уборов, даже подписывает названия их частей. На другой зарисовке представлен эскиз, ставший мотивом итоговой композиции. Далее намечалась раппортная организация. Итогом работы стала ткань «Индийский бордюр из перьев» с каймовым построением.

Таблица 1





Творческие методы художников различались: одни, как Зандра Роудс, делали зарисовки и рисунки традиционным способом; другие, как Ширли Клевейн, использовали масляные краски, считая, что именно они соответствуют яркости пигментов на ткани; третьи, как Джон Драмонд, использовали нестандартные приемы и технику. Его работы похожи на гравюры. Эскизы он создавал непосредственно на рабочей кальке, используя специальные валики. В некоторых случаях использовалось фотоувеличение, пленки, шаблоны, грубые ткани, так как, по мнению художников, это давало новые средства художественной выразительности и влияло на характер рисунка. Пример творческого тандема – отец и сын Хитченс, в основе их работ лежит слияние разных по графической подаче изображений [13, 14].

При анализе художественных приемов в западноевропейских печатных текстильных рисунках стоит учитывать то, что ключевыми направлениями 1960-х годов стали поп-арт, оп-арт, кроме того, становятся популярными и психоделические мотивы, порожденные субкультурой хиппи.

Поп-арт ввел в текстильный орнамент яркие цвета, броские формы быденных вещей, которые становились мотивами для рисунков. Оп-арт разрушал плоскость, создавая различные иллюзии. Субкультура хиппи возродила интерес к этническому орнаменту. Влияние ар-деко и ар-нуво привнесло в орнамент свою пластику и трактовку мотивов. Эти стили повлияли на формирование новых художественных приемов в орнаментальном дизайне.

Один из самых распространенных приемов, пришедших из поп-арта, – разработка мотивов лаконичными цветными плоскостями, а также соединение в орнаменте различных изображений по принципу коллажа.

Особенностью проектирования рисунков в стилистике оп-арта было то, что это направление являлось строго беспредметным. Оп-арт стремился расширить мир оптической иллюзии, имитируя трехмерные изображения, создавая иллюзии движения, перфорации и т. д.

С появлением культуры хиппи во второй половине 1960-х годов в зарубежных текстильных печатных рисунках появились новые, ранее не используемые художественные приемы: имитация вышивки, макраме, ручного ткачества, лоскутного шитья, техники икат (ikat), крашения индиго, эффектов узелкового батика (тай-дай), крашения способом "омбре" (ombre), создающим своеобразные плавные движения цвета.

Последней стадией работы, завершающей художественный образ рисунка, являлось колорирование. Можно выделить несколько групп цветовых сочетаний, свойственных зарубежным тканям 1960-х годов: «родственная», «контрастная» и «родственно-контрастная». Наиболее популярны цветовые комбинации оранжевого с яблочно-зеленым, голубого в сочетании с розовым и др. В середине 1960-х годов классическими комбинациями цветов являлись синий, коричневый и фиолетовый. Для контраста дизайнеры часто использовали в фоне черный цвет.

Цветовая гамма текстильных рисунков 1960-х годов характеризуется наличием чистых, открытых и насыщенных цветов.

Геометрические орнаменты выполнялись в хроматических и ахроматических цветосочетаниях, этнические орнаменты – в колорите народного искусства, цветочные и абстрактные мотивы – в психоделических цветах («кислотные» цвета и их сочетания). Подобные композиции выглядят, как радужная градация. Цветовая гамма и трактовка мотивов менялась в течение десятилетия. Если в начале десятилетия наблюдалось стремление к простоте, графической ясности, преобладали стилизованные мотивы, лаконичные цвета (фон и один-два цвета мотива), то конец десятилетия характеризуется многокрасочной, калейдоскопической цветовой гаммой.

Одним из необходимых условий производства печатного текстиля являлся коммерческий успех. От дизайнеров требовалось постоянное обновление рисунков. Поскольку многие из них не находились в штате фирмы, то от количества проданных

работ зависел их заработок. Коммерческий успех печатных рисунков проверялся их востребованностью у дизайнеров интерьера и костюма, а также на международных ярмарках во Франкфурте, Милане (Moda in) и т.д.

При изучении и анализе зарубежных печатных тканей можно выделить четыре основных принципа организации текстильных орнаментов, которые для наглядности представлены на рис. 1.



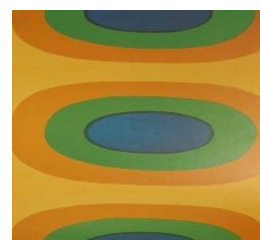
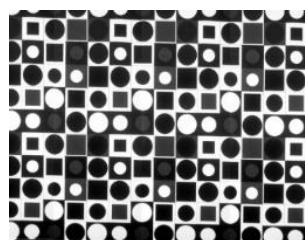
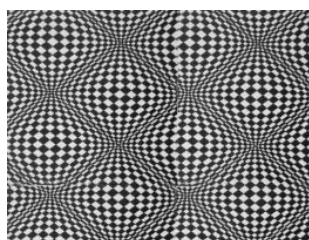
а)



б)



в)



г)

Рис. 1

Первый принцип создания текстильного рисунка – стилизация изображений в духе ар-нуво, ар-деко и стилевых направлений искусства 1960-х годов: оп-арт, поп-арт и психоделика (рис. 1, а). Влияние стилей происходило в нескольких направлениях. Дизайнеры текстиля использовали характерные мотивы, формы, пластику, композиционные построения, художественные приемы.

Второй принцип – обобщение, упрощение и геометризация изобразительных форм орнамента (рис. 1, б). Стилеобразующий прием в подаче мотивов – не линия, а пятно. Рисунки характеризуются отсутствием светотеневых трактовок, что делает их нарочито декоративными. Этот принцип прослеживается на примере всех орнаментальных групп. Исключение составляют рисунки на тему освоения космоса и небольшая группа традиционных мильфлеров (растительный

орнамент), где прослеживается условное моделирование объема.

Третий принцип – объединение в одном рисунке нескольких стилевых направлений (рис. 1, в), например, графики оп-арта и пластики ар-нуво, приемов ар-деко и психоделических мотивов, оптики оп-арта и цветочных мотивов.

Четвертый принцип – композиционное построение орнамента (рис. 1, г): расположение мотивов по принципу линейного раппорта (каймы); расположение мотивов по простым решеточным структурам (квадратной, прямой или повернутой на 45 градусов, ромбической и прямоугольной); объединение нескольких мотивов в модули и плотная их «компоновка» по принципу квадратной или ромбической решетки; в группе интерьерных тканей один мотив часто заполняет всю плоскость раппорта ткани по ширине и повторяется только по вертикали.

## ВЫВОДЫ

1. На зарубежный печатный текстиль 1960-х годов повлияло искусство поп-арта, оп-арта, ар-нуво, ар-деко, а также молодежная культура хиппи, возродившая интерес к фольклорному искусству, простым и ярким стилизованным изображениям, психоделическим орнаментам.

2. Зарубежный текстильный орнамент 60-х годов XX века можно разделить на семь групп: геометрический, растительный, предметный, сюжетный, этнический, абстрактный, комбинированный (смешанный).

3. Стадии проектирования зарубежных рисунков 60-х годов XX века: подготовительная, эскизная и завершающая, включающая раппортное построение и колорирование.

4. Построение орнамента имело четыре принципа, включающие стилизацию, обобщение, объединение в одном эскизе нескольких стилевых направлений и композиционное построение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Илларионов С.И.* Текстильный рисунок. Иваново: Кн. изд-во, 1956. 80 с.
2. *Никитин М.Н.* Теория ткацких переплетений на математической основе. М.: Легкая индустрия, 1964. 454 с.
3. *Шугаев В.М.* Орнамент на ткани (теория и методика построения). М.: Легкая индустрия, 1969. 88 с.
4. *Козлов В.Н.* Основы художественного оформления текстильных изделий: учебник для вузов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 264 с.
5. *Малахова С.А.* Специальная композиция печатного рисунка на текстильных материалах. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 203 с.
6. *Журавлева Т.А.* Художественное проектирование рисунков тканей промышленного производства с использованием ЭВМ: дис. ... канд. техн. наук. М.: МТИ, 1984. 182 с.

7. *Бесчастнов Н.П.* Графика текстильного орнамента (Печатный рисунок). М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004. 431 с., ил.

8. *Бесчастнов Н.П.* Художественный язык орнамента: учебное пособие для вузов. М.: ВЛАДОС, 2010. 335 с., ил.

9. *Морозова Е.В.* Рисунок русской набивной ткани. Специфика композиционного построения и трактовки изобразительных мотивов. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. 194 с.

10. *Рудин Н.Г.* Художественное оформление тканей. М.: Экономика, 1964. 172с.

11. *Щипакина А.А.* Зарубежная мода в художественном оформлении текстиля // Текстильная промышленность. 1991. №7. С. 25...29.

12. *Prichard Sue.* V&A Fifties Pattern. Published by V&A Publishing, London, 2009. 80 p.

13. *Jackson L.* Revolutionary Fabrics and Furniture 1957-1980. Shirley Craven and Hull Traders. Published by ACC Editions in association with the Ferens Art Gallery, Hull Museums, 2009. 220 p.

14. *Jackson L.* The Sixties: Decade of Design Revolution // Phaidon Press Ltd, 2000. 240 p.

## REFERENCES

1. *Illarionov S.I.* Textile drawing. Ivanovo: Book publishing house, 1956. 80 p.
2. *Nikitin M.N.* Theory of weaving weaves on a mathematical basis. M., Light industry, 1964. 454 p.
3. *Shugaev V.M.* Ornament on fabric (theory and methodology of construction). M., Light industry, 1969. 88 p.
4. *Kozlov V.N.* Fundamentals of textile decoration: Textbook for universities. M.: Light and food industry, 1981. 264 p.
5. *Malakhova S.A.* Special composition of printed drawing on textile materials. M.: Light and food industry, 1984. 203 p.
6. *Zhuravleva T.A.* Artistic design of drawings of fabrics of industrial production using computers: dis. ... Candidate of Technical Sciences. M.: MIT, 1984. 182 p.
7. *Beschastnov N.P.* Graphics of textile ornament (Printed drawing). M.: Kosygin Moscow State Technical University, 2004. 431s., ill.
8. *Beschastnov N.P.* Artistic language of ornament: Textbook for universities. M.: VLADOS, 2010. 335 s, ill.
9. *Morozova E.V.* Drawing of Russian printed fabric. Specificity of compositional construction and interpretation of pictorial motifs. M.: Kosygin Russian State University, 2019. 194 s.
10. *Rudin N.G.* Decoration of fabrics. M.: Economics, 1964. 172 s.

11. *Shchipakina A.A.* Foreign fashion in the decoration of textiles // Textile Industry. 1991. No.7. P. 25...29.

12. Prichard Sue. V&A Fifties Pattern. Published by V&A Publishing, London, 2009. 80 p.

13. *Jackson L.* Revolutionary Fabrics and Furniture 1957-1980. Shirley Craven and Hull Traders. Published by ACC Editions in association with the Ferens Art Gallery, Hull Museums, 2009. 220 p.

14. *Jackson L.* The Sixties: Decade of Design Revolution // Phaidon Press Ltd, 2000. 240 p.

Рекомендована кафедрой декоративно-прикладного искусства и художественного текстиля РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 16.10.23.

---

УДК678; 541.12

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_236

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛЗУЧЕСТИ  
С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОЛОКНИСТОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА  
ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ СУПЕРПОЗИЦИИ\***

**STUDY OF CREEP CHARACTERISTICS OF LONG-TERM FIBROUS  
REINFORCING COMPOSITE MATERIAL  
USING THE TIME-TEMPERATURE SUPERPOSITION PRINCIPLE**

*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

*В настоящее время все чаще в космических конструкциях, таких как солнечные батареи, крупногабаритные рефлекторы антенн, используются упруго-трансформируемые элементы, выполненные из волокнистых композиционных материалов, благодаря их высокой удельной прочности и жесткости, а также бистабильности. В работе представлены результаты прогнозирования длительной ползучести волокнистого композиционного материала. Для получения данных применялся принцип суперпозиции время-температура. Представленные данные могут быть использованы при проектировании упруго-трансформируемых конструкций и оценке длительности воздействия постоянной нагрузки до наступления отказа. Последний может вызываться накоплением критического уровня остаточной деформации при различных температурах. В работе показано, что повышение температуры приводит к существенному снижению времени накопления критического уровня деформации.*

*Fiber-reinforced composite materials are increasingly used in deployable space structures, such as solar panels, large-sized antenna reflectors. Due to their high specific strength and rigidity, as well as bistability. The paper presents the results of prediction the long-term creep of a fiber-reinforced composite material using the*

\*Работа выполнена НЛ ЦПТК в рамках программы стратегического академического лидерства "Приоритет-2030" СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

*time-temperature superposition principle, the data obtained can be used in designing transformable structures and estimating the duration of exposure to a constant load before refusal. It may be caused by the accumulation of a critical level of residual deformation at various temperatures. The paper shows that an increase in temperature leads to a significant decrease in the time of accumulation of the critical level of deformation.*

**Ключевые слова:** ползучесть, волокнистый композиционный материал, углеродные волокна, принцип суперпозиции.

**Keywords:** creep, fiber-reinforced composite material, carbon fiber, time-temperature superposition principle.

Композиционные материалы с полимерной матрицей и армирующими волокнами привлекательны для многих применений в аэрокосмической промышленности, поскольку их использование позволяет улучшить характеристики упруго-трансформируемых конструкций благодаря высокой удельной жесткости и большой кривизне при складывании, а для космических миссий имеет огромное значение минимальная масса и высокая эффективность складывания в транспортном положении [1]. Развертывание упруго-трансформируемых конструкций происходит благодаря высвобождению упругой энергии, накопленной на этапе перевода в транспортное (сложенное) положение [3]. Однако в процессе длительного хранения в транспортном положении за счет вязкоупругого поведения полимера со временем накопленная упругая энергия рассеивается, и накапливается деформация, которая приводит к снижению характеристик изделия или потенциальному отказу [5, 6]. Полимеры или композиционные материалы на их основе демонстрируют различное сопротивление ползучести. Экспериментальное исследование ползучести композиционного материала при уровнях напряжений, возникающих в процессе складывания конструкции, является актуальной задачей при проектировании упруго-трансформируемых конструкций, к которым предъявляются высокие требования к сохранению геометрических параметров изделия после длительного хранения в сложенном положении. Используя принцип температурно-временной суперпозиции, в данной работе провели оценку долговременной ползучести матери-

ала в условиях постоянного уровня напряжений, поскольку длительность хранения упруго-трансформируемых крупногабаритных конструкций может достигать десятков лет. Принцип суперпозиции время-температура первоначально был разработан для прогнозирования свойств полимеров, однако применим и для композиционных материалов [7].

Ввиду того, что при повышении температуры ползучесть полимеров значительно повышается, нельзя пренебрегать возможным увеличением температуры во время хранения или транспортировки в сложенном состоянии, а также влиянием температуры на сохраняемость геометрических параметров изделия после длительного хранения в сложенном состоянии.

Целью настоящей работы является прогнозирование длительной ползучести волокнистого композиционного материала и влияния температуры хранения на время накопления критического уровня деформации.

При построении кривых ползучести в работе использована податливость  $S(t)$ , которая определяется как отношение деформации  $\varepsilon(t)$  к напряжению  $\sigma$  [2]:

$$S(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma}. \quad (1)$$

В данной работе изучалась длительная ползучесть полимерного композиционного материала на основе SPREAD углеродных волокон при помощи принципа температурно-временной суперпозиции. Проведена оценка увеличения податливости композиционного материала в процессе хранения в сложенном состоянии, а также величины

остаточной деформации после снятия нагрузки в зависимости от уровня напряжения и температуры.

В качестве армирующего материала в работе использовалась однонаправленная углеродная лента Т30 с поверхностной плотностью  $30 \pm 3$  г/м<sup>2</sup>, изготовленная на основе волокна Т700SC 12 К с модулем упругости  $235 \pm 15$  ГПа и прочностью при растяжении  $\geq 4500$  МПа. В качестве полимерной матрицы композиционного материала использовалось эпоксидное связующее Т-26 компании АО «ИНУМиТ».

Для определения температуры стеклования использовался динамический механический анализатор DMAQ800 производства TA Instrument. Испытание проводилось с частотами нагружения, равными 1, 2, 3, 5, 7 и 10 Гц, при относительной деформации 0,1 %, в диапазоне температур от 30 до 250 °С при постоянной скорости нагрева 2 °С/мин в среде воздуха с использованием оснастки для трехточечного изгиба. Для создания кривых ползучести использовались два режима постоянного напряжения с постоянной силой, равной 1,6863 и 8,8648 Н. Образец нагружался в течение одного часа и затем восстанавливался в течение такого же времени. Данный шаг режима измерения выполнялся в изотермическом режиме с последующим нагревом на 5 °С и повторением цикла нагружения/восстановления. Измерения проводились в диапазоне от 35 до 120 °С.

Образец был изготовлен методом вакуумной инфузии. Режим отверждения – нагрев до 180 °С со скоростью 2 °С в минуту с последующей выдержкой в течение 3 часов. Постотверждение проводили при 180 °С в течение 6 часов.

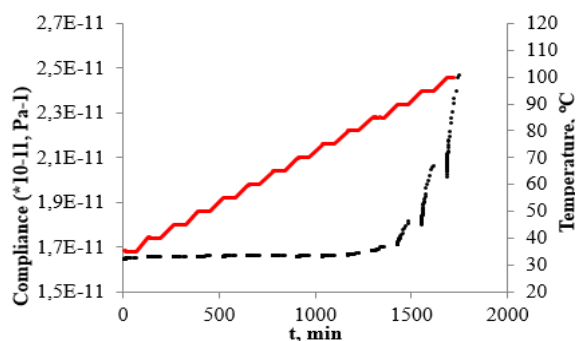


Рис. 1

На рис. 1 представлены кривые ползучести композиционного материала в диапазоне температур от 35 до 120 °С при постоянной силе нагружения, равной 1,6863 Н. Разрывы на графике отображают режим восстановления.

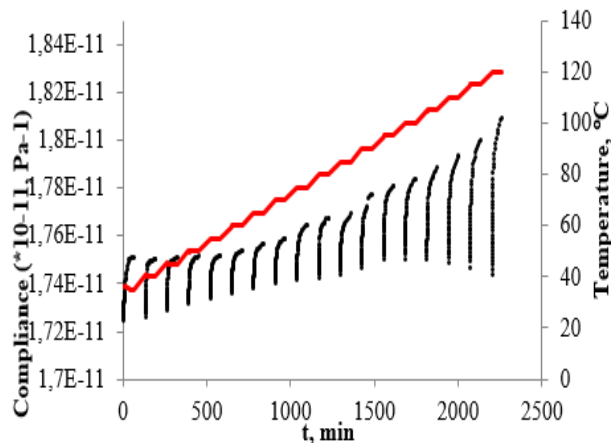


Рис. 2

Для оценки долговременной ползучести построена смещенная кривая ползучести (рис. 2). В работе для этого использован принцип температурно-временной суперпозиции, согласно которому повышение температуры эквивалентно увеличению времени нагружения на коэффициент сдвига. С помощью указанного метода кратковременные испытания на ползучесть в диапазоне температур могут использоваться для получения данных по долговременной ползучести композиционного материала. При использовании этого метода кривые ползучести, полученные при изотермических испытаниях, смещаются на коэффициент сдвига  $\log(a_T)$  для прогнозирования кривой ползучести при эталонной температуре. Для оценки коэффициента сдвига использовалась энергия активации, определенная исходя из зависимости максимума сигнала тангенса  $\delta$  композиционного материала от частоты нагружения.

На рис. 3 представлены зависимости тангенса  $\delta$  композиционного материала от температуры при различных частотах (1, 3 и 5 Гц) в диапазоне температур от 70 до 210 °С (данные представлены в табл. 1).



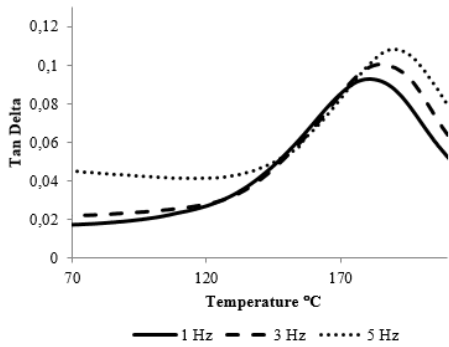


Рис. 3

Результаты свидетельствуют о том, что с увеличением частоты стеклование происходит при более высоких температурах. Далее, используя полученные закономерности, определяют зависимость натурального логарифма частоты от обратной температуры пика тангенса  $\delta$ , изображенной на графике Аррениуса (рис. 4).

Т а б л и ц а 1

Частота $f$ , Гц	$\ln(f)$	$T_g$ , К	$1000/T_g$
1	0	453,94	2,2029
2	0,6931	459,30	2,1772
3	1,0986	458,10	2,1829
5	1,6094	463,04	2,1596
7	1,9459	463,69	2,1566
10	2,3045	467,10	2,1409

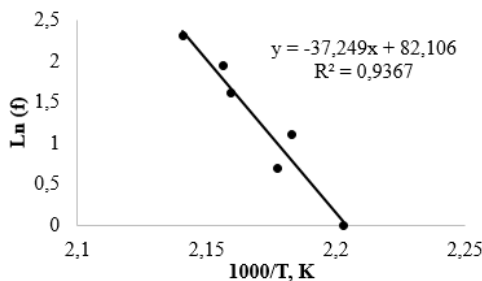


Рис. 4

Энергию активации рассчитывали по уравнению (2) согласно наклону графика зависимости натурального логарифма частоты нагружения  $\ln(f)$  от обратной температуры стеклования  $1/T_g$  [4]:

$$\Delta H = -R \frac{d(\ln(f))}{d\left(\frac{1}{T_g}\right)}, \quad (2)$$

где  $R$  – газовая постоянная.

Используя допущение о постоянстве энергии активации в исследуемом температурном диапазоне, рассчитали коэффициент сдвига согласно уравнению [2]:

$$\log(a_T) = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \log e, \quad (3)$$

где  $T_{ref}$  и  $T$  – эталонная температура и температура исследования.

Из уравнения (3) получен коэффициент сдвига. Для построения кривой долговременной ползучести (рис. 5) использованы данные, полученные в диапазоне температур от 35 до 120°C для нагрузки, равной 1,6863 Н, и данные в диапазоне от 35 до 100°C при нагружении 8,8648 Н.

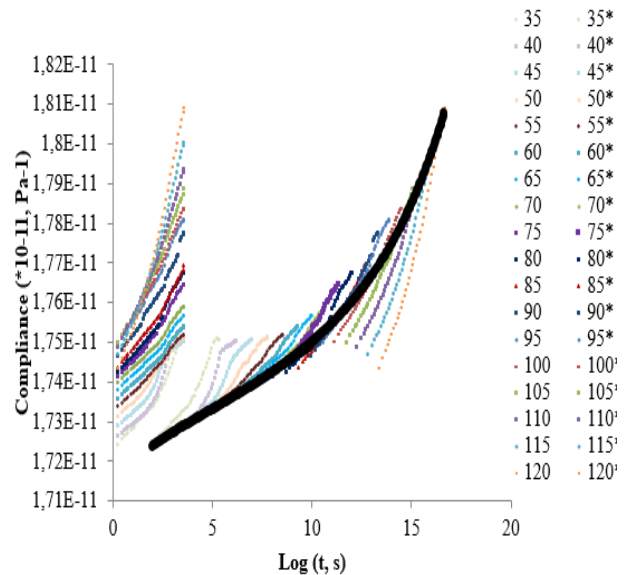


Рис. 5

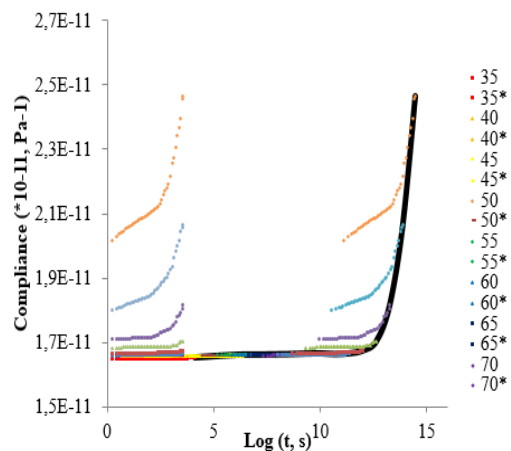


Рис. 6

После снятия нагрузки для каждого шага режима измерения оценено восстановление деформации путем отношения деформации, восстановленной после снятия нагрузки, к перемещению под действием постоянной силы в течение срока нагружения (рис. 6). На основании данных можно прогнозировать допустимый срок хранения изделия из композиционного материала под постоянной нагрузкой, задав допустимый предел остаточной деформации. Используя метод температурно-временной суперпозиции, можно также спрогнозировать, насколько уменьшится срок сохранности изделия при изменении температуры. Для наглядности зададим критерий отказа равным накопленному остаточной деформации 3 %.

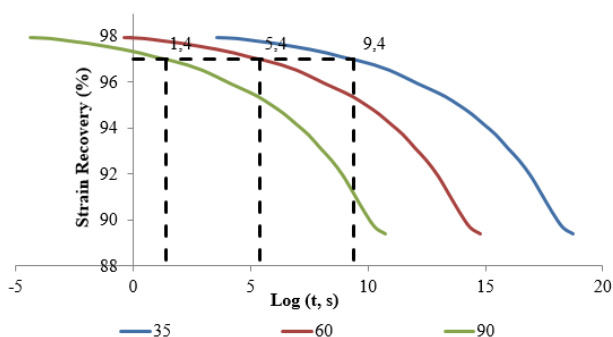


Рис. 7

Как видно на рис. 7, повышение температуры приводит к существенному снижению времени накопления критического уровня деформации. Если при температуре 35 °C время накопления 3 % деформации составляет около 80 лет, то при увеличении до 60 °C этот период сокращается до 3 дней, а при 90 °C составляет около 25 секунд.

## ВЫВОДЫ

Количественное исследование ползучести композиционного материала предоставляет необходимые данные при проектировании упруго-трансформируемых конструкций в вопросе допустимого срока хранения. В работе проведено экспериментальное исследование ползучести композиционного материала при уровнях напряжений, возникающих в процессе складывания конструкции. С использованием полученных эксперимен-

тальных данных с помощью принципа температурно-временной суперпозиции оценена ползучесть материала в условиях постоянного уровня напряжений. Произведена оценка зависимости накопленной деформации от времени выдержки при постоянном уровне напряжений. С помощью принципа температурно-временной суперпозиции показано влияние температуры, при которой осуществляется воздействие нагрузки, на ползучесть.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kang J.H., Hinkley J.A., Gordon K.L. and etc. Viscoelastic characterization of polymers for deployable composite booms. *Advances in Space Research*. Vol. 67, Is. 9, 2021, P. 2727...2735.
2. Fulmali A.O., Nayak B.A., Dasari S and etc. Effect of 1D carbon nano-tube and fiber reinforcement on the long-term creep performance of glass fiber/epoxy composite using the time-temperature superposition principle. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 47, Part 11, 2021, P. 3263...3268.
3. Hamillage M.Y., Leung C., Kwok K. Viscoelastic modeling and characterization of thin-ply composite laminates. *Composite Structures*. Vol. 280, 2022, 114901.
4. Goertzen W.K., Kessler M.R. Creep behavior of carbon fiber/epoxy matrix composites. *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 421, Issues 1–2, 2006, P. 217...225.
5. Ning A., Jia Q., Jin H. and etc. Multiscale modeling of viscoelastic behavior of unidirectional composite laminates and deployable structures. *Materials & Design*. 2022. Vol. 219. — <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110754>.
6. Алиева З.Х., Джаббарова Г.З., Аллахвердиева И.Ф. Влияние заданных нагрузок на компоненты полной деформации растяжения текстурированной нити типа эластик // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 3(399). С. 76...80.
7. Scott D.W., Lai J.S., Zureick A.H. Creep Behavior of Fiber-Reinforced Polymeric Composites: A Review of the Technical Literature. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 1995. 14(6). P. 588...617.

## REFERENCES

1. Kang J.H., Hinkley J.A., Gordon K.L. and etc. Viscoelastic characterization of polymers for deployable composite booms. *Advances in Space Research*. Vol. 67, Issue 9, 2021, P. 2727...2735.
2. Fulmali A.O., Nayak B.A., Dasari S and etc. Effect of 1D carbon nano-tube and fiber reinforcement on the long-term creep performance of glass fiber/epoxy composite using the time-temperature superposition prin-

сiple. *Materials Today: Proceedings*. 2021, Vol. 47, Part 11, P. 3263...3268.

3. *Hamillage M.Y., Leung C., Kwok K.* Viscoelastic modeling and characterization of thin-ply composite laminates. *Composite Structures*. 2022, Vol. 280, 114901.

4. *Goertzen W.K., Kessler M.R.* Creep behavior of carbon fiber/epoxy matrix composites. *Materials Science and Engineering: A*. 2006, Vol. 421, Is. 1–2, P. 217...225.

5. *Ning A., Jia Q., Jin H. and etc.* Multiscale modeling of viscoelastic behavior of unidirectional composite laminates and deployable structures. *Materials & Design*. 2022. Vol. 219. – <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110754>.

6. *Aliyeva Z.Kh., Dzhabbarova G.Z., Allahverdiyeva I.F.* The influence of given loads on the components of total tension deformation of elastic type textured threads // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 3 (399). P. 76...80.

7. *Scott D.W., Lai J.S., Zureick A.H.* Creep Behavior of Fiber-Reinforced Polymeric Composites: A Review of the Technical Literature. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 1995. 14 (6). P. 588...617.

Рекомендована научной лабораторией «Интеллектуальные материалы и структуры» СибГУ им. М.В. Решетнева. Поступила 31.03.23.

УДК678; 539.612

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_241

## СОЗДАНИЕ УПРОЧНЕННОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ВОЛОКНИСТОГО НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА\*

### CREATION OF REINFORCED STRAIN-SENSITIVE FIBROUS NANOCOMPOSITE MATERIAL

*O.B. СЕМЕНУХА, С.Ю. ВОРОНИНА*

*O.V. SEMENUKHA, S.YU. VORONINA*

(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева)

(Reshetnev Siberian State University of Science and Technology)

E-mail: [semenukha.cool@mail.ru](mailto:semenukha.cool@mail.ru)

*В работе приведены результаты исследования влияния концентрации модификатора поверхности волокнистого наполнителя (углеродной ткани Аспро А-60) на механические и электропроводящие свойства полимерного нанокompозиционного материала (ПКМ). В качестве модификатора поверхности в представленном исследовании использован  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилан (АПТЭС). Обработка поверхности волокнистого наполнителя приводит к созданию монолитного композита за счет образования связей между матрицей и наполнителем. Визуализация морфологических особенностей композитов без предварительной обработки поверхности волокнистого наполнителя с использованием сканирующего электронного микроскопа показала наличие пустот в ПКМ. Охарактеризованы электропроводящие свойства образцов ПКМ в зависимости от концентрации раствора*

\*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение 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).

**АПТЭС.** Установлено, что концентрация АПТЭС, нанесенного на волокнистый наполнитель, не влияет на значения удельной электропроводности образцов ПКМ. Показано, что с помощью предварительной обработки волокнистого наполнителя модификатором поверхности АПТЭС возможно создание упрочненного композита. Для создания полимерного композита с прочностью выше в 6 раз по сравнению с исходным образцом необходима обработка поверхности волокнистого наполнителя 10 %-ным раствором модификатора.

*The paper presents the research results of concentration influence of fibrous filler surface modifier (carbon fabric Aspro A-60) on the electrical conductive properties of a polymer nanocomposite material (PCM). The surface modifier used in the present study was  $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane (APTES). Surface treatment of the fibrous filler leads to the creation of a monolithic composite due to the formation of bonds between the matrix and the filler. Visualization of the morphological features of composites without pre-treatment of the fibrous filler surface using a scanning electron microscope showed the presence of voids in the PCM. The electrical conductive properties of PCM samples were characterized depending on the concentration of the APTES solution. It has been established that the concentration of APTES applied to the fibrous filler does not affect the values of the electrical conductivity of PCM samples. It has been shown that it is possible to create a strengthened composite by pre-treating the fibrous filler with the APTES surface modifier. To create a polymer composite with a strength 6 times higher than the original sample, it is necessary to treat the surface of the fibrous filler with a 10% modifier solution.*

**Ключевые слова:** ПКМ, модификатор поверхности, тканевый наполнитель, электропроводность, углеродные нанотрубки, углеродный волокнистый наполнитель.

**Keywords:** polymer composite material, surface modifier, fabric filler, electrical conductivity, carbon nanotubes, carbon fiber filler.

В настоящее время электропроводящие материалы необходимы в большинстве отраслей промышленности: от текстильной до аэрокосмической. Области их применения включают трансформируемые рефлекторы космических аппаратов, фильтрующие материалы для очистки воздуха, воды и промышленных газов, «умную» одежду и нагревательные элементы [1-5]. В качестве такого электропроводящего материала может быть использован ПКМ на основе силикона, модифицированного углеродными нанотрубками (УНТ) и упрочненного волокнистым наполнителем. Применение силикона в качестве матрицы обусловлено рядом преимуществ: широкий диапазон температуры эксплуатации ( $\pm 150$  °C),

способность сохранять эластичность и не деформироваться при указанных температурах и др. Однако силикон обладает низкой адгезией к волокнистым наполнителям, поэтому исследователями уделяется большое внимание вопросу адгезии в ПКМ на основе этого связующего [6]. Целью данной работы является исследование влияния модификатора поверхности волокнистого армирующего наполнителя на электропроводящие свойства композита при создании прочного электропроводящего нанокompозиционного ПКМ.

При создании качественного монолитного ПКМ большое значение имеет межфазное взаимодействие между волокнистым наполнителем и матрицей. Так, для проникновения матрицы в межфиламент-

ное пространство необходимы хорошие смачиваемость и адгезия волокна [7-10]. Улучшение этих параметров достигается путем специальной обработки волокнистой поверхности. Использование волокнистого наполнителя с классическими аппретами эпоксидной природы для создания прочного ПКМ на основе силиконовой матрицы не представляется возможным из-за отсутствия взаимодействия между функциональными группами такого аппрета и компонентов силикона. Исследователи использовали обработку поверхности волокнистого наполнителя с целью увеличения количества поверхностных функциональных групп и улучшения взаимодействия между волокнистым наполнителем и матрицей с помощью методов окисления [8], электрохимического метода [9].

Основной недостаток этих методов заключается в сложности их внедрения в производство для предприятий, не обладающих необходимым оборудованием.

Нами рассмотрен иной способ подготовки волокнистого наполнителя при изготовлении ПКМ на основе кремнийорганических связующих для улучшения адгезионного взаимодействия между матрицей и наполнителем.

Эффективным способом повышения адгезионной прочности является аппретирование волокнистого наполнителя [11] для увеличения числа полярных групп на его поверхности, способных если не к химическому, то к взаимодействию со связующим за счет межмолекулярных сил притяжения. Для лучшего адгезионного взаимодействия между волокнистым наполнителем и кремнийорганическим связующим необходимо использование силиконовых аппретов новыми соединениями чаще всего используется для получения высокоэффективных композитов, армированных стекловолокном.

С учетом вышеизложенного решением данной проблемы может стать предварительная обработка углеродных тканей модификатором поверхности, который должен обладать функциональными группами, часть из которых способна вступать в химическое взаимодействие с аппретом

волокнистого наполнителя, а другая часть – контактировать с функциональными группами кремнийорганических матриц.

Указанным критериям соответствует модификатор –  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилан (АПТЭС), структурная формула которого изображена на рис. 1.

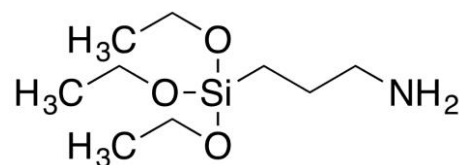


Рис. 1

АПТЭС является бифункциональным аппретом, применяется для обеспечения прочных связей между неорганическими волокнистыми наполнителями и органическими полимерами. Первичная аминогруппа взаимодействует с терморезактивными, термопластичными и эластомерными связующими (силиконом). Принципиальная схема реакции силиконового аппрета [13] на поверхности волокнистого наполнителя (углеродной ткани Аспро А-60) представлена на рис. 2.

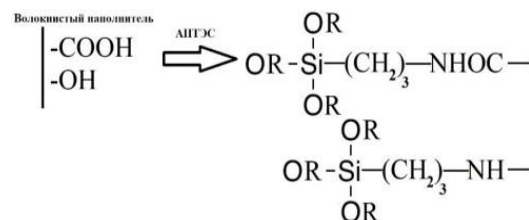


Рис. 2

Предварительная обработка волокнистого наполнителя АПТЭС позволяет кремнийорганической матрице создавать химически сшитую структуру с аппретом волокнистого наполнителя [13] (рис. 3). Кремнийсодержащая часть молекулы матрицы обеспечивает прочное связывание с силиконовым аппретом.

Образование химических связей между аппретом и силиконом позволит создать упрочненный электропроводящий элемент из ПКМ на основе электропроводящей матрицы и волокнистого наполнителя.

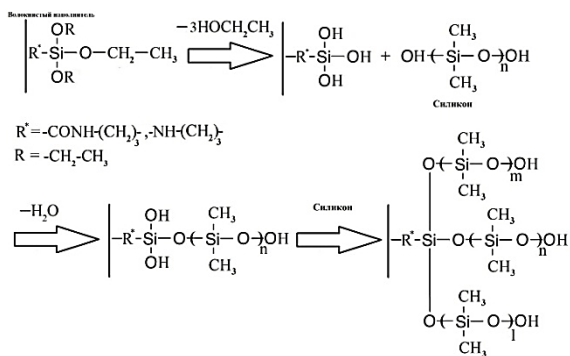


Рис. 3

Объектами исследования выступали образцы ПКМ на основе волокнистого наполнителя: углеродной ткани Аспро А-60 (Аспро, Россия). Волокнистый наполнитель был предварительно обработан раствором

АПТЭС (Acros Organics, Бельгия) в хлороформе с концентрациями: 5; 10; 15; 20; 25 и 30 %. В качестве матрицы для ПКМ использован силикон (Wacker, Германия) с концентрацией 1 % проводящей пасты (OCSiAl, Россия) на основе одностенных УНТ с диаметром  $1,6 \pm 0,4$  нм и длиной  $\geq 5$  мкм для придания материалу электропроводящих свойств. Удаление растворителя с поверхности волокнистого наполнителя проводилось в сушильном шкафу при температуре  $80^\circ\text{C}$  в течение 2 часов.

В работе подготовлена матрица с УНТ по технологии, представленной на рис. 4, и изготовлен ПКМ методом контактного формования.

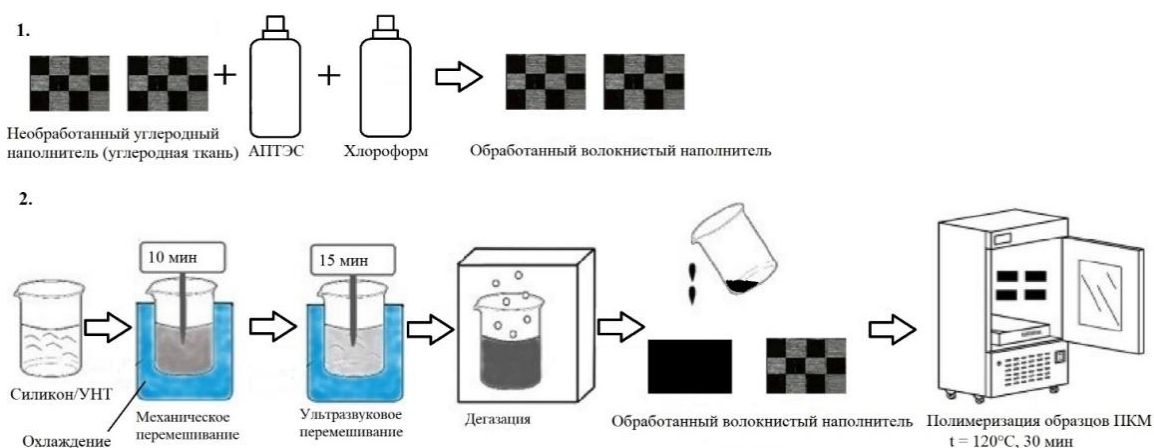


Рис. 4

Образцы ПКМ представляли собой пластины размером  $110 \times 20$  мм с толщиной около 0,3 мм.

Визуализация морфологических особенностей композитов осуществлялась в Красноярском региональном центре коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН с применением сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) высокого разрешения FE-SEM S-5500 (Hitachi Ltd., Япония).

Механическое испытание адгезионной прочности слоев на сдвиг проводилось не менее чем через 24 часа после склеивания в условиях квазистатического нагружения на универсальной испытательной машине Eurotest T-50 (S.A.E. IBERTEST, Испания). Нагрузка создавалась с постоянной скоростью 5 мм/мин. Проведены испытания пяти

образцов ПКМ для каждой выбранной концентрации раствора АПТЭС согласно ГОСТ 25.601-80 [14].

Электрическое сопротивление образцов ПКМ измерено с помощью цифрового мультиметра АРРА-80.

Микроскопия образцов ПКМ представлена на рис. 5. В образце без предварительной обработки поверхности волокнистого наполнителя АПТЭС (рис. 5, а) наблюдаются пустоты между волокнистым наполнителем и матрицей. После обработки волокнистого наполнителя модификатором (рис. 5, б) пустоты исчезают, что обеспечивает создание монолитного композиционного материала вследствие повышения смачиваемости и адгезии между волокнистым наполнителем и матрицей.



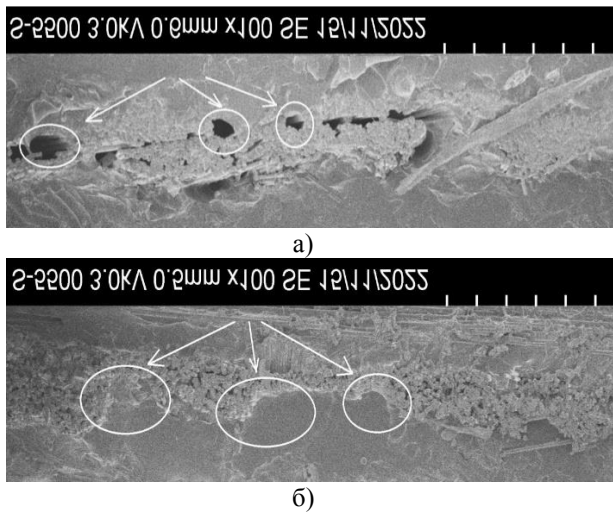


Рис. 5

На рис. 6 показана зависимость предела прочности образцов ПКМ от концентрации раствора АПТЭС.

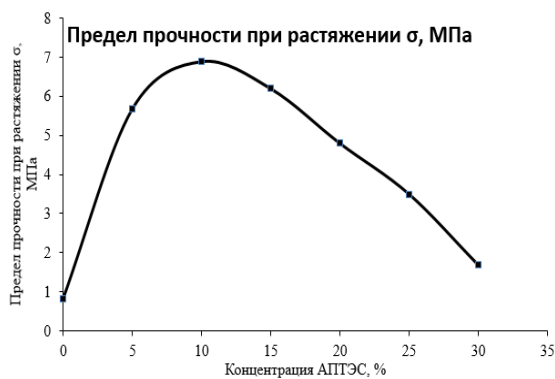


Рис. 6

На рис. 6 видно, что максимальный предел прочности соединения «волокно – матрица» образца ПКМ достигается при обработке 10 %-ным раствором АПТЭС и составляет 6,89 МПа. Этот показатель предела прочности ПКМ при растяжении в 6 раз выше соединения без предварительной обработки волокнистого наполнителя.

Значения зависимости удельной электропроводности образцов ПКМ от концентрации раствора АПТЭС представлены в рис. 7. В исследовании установлено, что концентрация раствора АПТЭС, нанесенного на волокнистый наполнитель, оказывает незначительное влияние на величину удельной электропроводности образцов ПКМ.

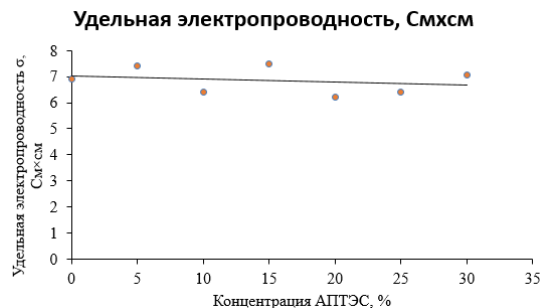


Рис. 7

Обработка поверхности волокна АПТЭС приводит к образованию «мостиковых связей» между наполнителем и матрицей, где мостиком выступает бифункциональный аппарат (АПТЭС) за счет наличия реагирующих групп как с наполнителем, так и с матрицей. Таким образом, в работе показана возможность получения упрочненного (прочность образца после обработки модификатором повысилась в 6 раз) электропроводящего полимерного нанокompозита без изменения его электропроводящих свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Железина Г.Ф., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н. Встроенный контроль: от датчиков до информкомпозитов // *Авиационная промышленность*. 2008. №. 3. С. 46.
2. Сапожников С.В., Сафонов В.В. Перспективность получения и применения электропроводящих текстильных материалов // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб. матер. XXI Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-2018»*. Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 229.
3. Бесиопошнина В.И., Жагрина И.Н., Липатова Л.А., Змеева Е.Д. Разработка многослойного электропроводящего текстильного материала // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. №. 1. С. 83...88.
4. Дебердеев Т.Р., Андрианова К.А., Амирова Л.М. Обзор путей развития и применения полимерных волокнистых композиционных материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. №. 6. С. 5...13.
5. Onggar T., Krupke I., Cherif C. Techniques and processes for the realization of electrically conducting textile materials from intrinsically conducting polymers and their application potential // *Polymers*. 2020. Т. 12, №. 12. С. 2867.
6. Пат. 2754144 РФ. Гибкий слоистый композиционный материал с высокой абляционной стойкостью.



7. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов. М., 2010. С. 20...60.

8. Liu J., Tian, Y., Chen, Y., Liang, J. Interfacial and mechanical properties of carbon fibers modified by electrochemical oxidation in  $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)/(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  aqueous compound solution // Applied surface science. 2010. Т. 256, №. 21. С. 6199...6204.

9. Губанов А.А., Коршак Ю.В. Электрохимическая обработка углеродных волокон на основе полиакрилонитрила (ПАН) в системе  $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3/(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  с целью повышения прочности композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы // Гальванотехника и обработка поверхности. 2014. Т. 22, №. 4. С. 27...31.

10. Воронина С.Ю., Власов А.Ю., Ворончихин В.Д., Белов О.А., Иванов А.В. Определение поверхностных свойств углеволокна в процессе контактного взаимодействия с полимерными связующими // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91. №. 8. С. 1148...1153.

11. Zhang T., Yang, J., Jiang B., Huang Y. Study on the interfacial properties of the dual-activity silicone resin/carbon fibers composites // Composites Science and Technology. 2018. Т. 165. С. 347...354.

12. Liu L., Yan F., Li M., Zhang M., Xiao L., Shang L., Ao Y. Improving interfacial properties of hierarchical reinforcement carbon fibers modified by graphene oxide with different bonding types // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2018. Т. 107. С. 616...625.

13. Юровская М.А., Куркин А.В. Основы органической химии: учебное пособие. 3-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.

14. ГОСТ 25.601-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). М.: Стандартинформ, 2005. С. 200...208.

## REFERENCES

1. ZHelezina G.F., Sivakov D.V., Gulyaev I.N. Built-in control: from sensors to information composites // Aviacionnaya promyshlennost'. 2008. №. 3. С. 46.

2. Sapozhnikov S.V., Safonov V.V. Prospects for obtaining and using electrically conductive textile materials // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy: sb. materialov HXI Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma «SMARTEX-2018». Ivanovo: IVGPU, 2018. С. 229.

3. Besshaposhnikova V.I., ZHagrina I.N., Lipatova L.A., Zmeeva E.D. Development of multilayer electrically conductive textile material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. №. 1. С. 83...88.

4. Deberdeev T.R., Andrianova K.A., Amirova L.M. Review of development and application of polymeric fibrous composite materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. №. 6. С. 5...13.

5. Onggar T., Kruppke I., Cherif C. Techniques and processes for the realization of electrically conducting textile materials from intrinsically conducting polymers and their application potential // Polymers. 2020. Т. 12, №. 12. С. 2867.

6. Patent No. 2754144 C1 Russian Federation. Flexible laminated composite material with high ablative resistance.

7. Bogdanova YU. G. Adhesion and its role in ensuring the strength of polymer composites. Moskva, 2010. С. 20...60.

8. Liu J., Tian, Y., Chen, Y., Liang, J. Interfacial and mechanical properties of carbon fibers modified by electrochemical oxidation in  $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)/(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  aqueous compound solution // Applied surface science. 2010. Т. 256, №. 21. С. 6199...6204.

9. Gubanov A.A., Korshak Y.V. Elektrohimicheskaya obrabotka uglerodnykh volokon na osnove poliakrilonitрила (PAN) v sisteme  $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3/(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  s cel'yu povysheniya prochnosti kompozitsionnykh materialov na osnove epoksidnoy matricy // Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti. 2014. Т. 22, №. 4. С. 27...31.

10. Voronina S.Y., Vlasov A.Y., Voronchikhin V.D., Belov O.A., Ivanov A.V. Determining the surface properties of carbon fiber in contact interaction with polymeric binders // Zhurnal prikladnoi khimii. 2018. Vol. 91. №. 8. P. 1148...1153.

11. Zhang T., Yang J., Jiang B., Huang Y. Study on the interfacial properties of the dual-activity silicone resin/carbon fibers composites. Composites Science and Technology. 2018. Т. 165. С. 347...354.

12. Liu L., Yan F., Li M., Zhang M., Xiao L., Shang L., Ao Y. Improving interfacial properties of hierarchical reinforcement carbon fibers modified by graphene oxide with different bonding types // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2018. Т. 107. С. 616...625.

13. Yurovskaya M.A., Kurkin A.V. Fundamentals of organic chemistry: textbook. 3rd ed. (el.). М.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015.

14. State Standard 25.601-80. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform, 2005. 9 p. (In Russian)

Рекомендована научной лабораторией «Интеллектуальные материалы и структуры» СибГУ им. М.Ф. Решетнева. Поступила 23.06.23.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕСУРСА  
МНОГОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНОГО ШЛАНГА  
ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ\***

**TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASING THE WORKING LIFE  
OF MULTILAYER POLYMER HOSE CONSTRUCTION  
OF INCREASED WEAR RESISTANCE**

*М.С. МИХАЙЛОВ<sup>1</sup>, А.П. ТИТОВА<sup>2</sup>, Н.С. КАРПОВ<sup>2</sup>, С.В. ХЕЙЛО<sup>3</sup>, Э.П. САРИЕВ<sup>4</sup>*

*M.S. MIKHAILOV<sup>1</sup>, A.P. TITOVA<sup>2</sup>, N.S. KARPOV<sup>2</sup>, S.V. HAYLO<sup>3</sup>, E.P. SARIEV<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет,

<sup>2</sup>Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук,

<sup>3</sup>Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

<sup>4</sup>ООО «СЕВЕРМАШ»

<sup>1</sup>MIREA – Russian Technological University,

<sup>2</sup>Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences,

<sup>3</sup>A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art),

<sup>4</sup>LLC «SEVERMASH»

E-mail: mikhailov.mms@yandex.ru

*Перистальтический насос получил широкое распространение для дозирования и транспортировки химически активных, высоковязких и абразивных сред, так как при перекачивании отсутствует контакт жидкости с внешней средой. В конструкции такого насоса главной проблемой является быстрый износ шланга, который может привести к выходу из строя всего агрегата. Целью работы является создание технологии производства шланга с увеличенным рабочим ресурсом. В исследовании приводится метод расчета рабочего ресурса, проводится анализ способов его увеличения. Конструктивные способы существенно усложняют процесс производства, поэтому для решения проблемы предложен измененный технологический способ. В предложенной схеме, в отличие от существующих, внешний слой образуется не на линии экструзии, а на участке бандаж и автоклава. Представленный способ позволяет придать поверхности однородность, создать на протяжении всей длины шланга одинаковую толщину и текстуру, тем самым увеличив его срок службы на 25-30 %.*

*The peristaltic pump is widely used for dosing and conveying chemically active, highly viscous and abrasive environment, as there is no contact between the liquid and the external medium during pumping. In the design of this pump The main problem of this pump design type is the fast wear and tear of the hose, which can lead to the failure of the entire unit. The purpose of this paper is to create a technology for the production of a hose with an increased working life. The investigation provides a method for calculating the working resource and analyzes ways to increase it. Constructive methods complicate the production process significantly, so to*

---

\*Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту № 075-11-2022-027 по теме: «Создание высокотехнологичного серийного производства перистальтических насосных агрегатов для агрессивных сред с повышенными эксплуатационными свойствами».

*solve the problem the modified technological method was proposed. In the proposed scheme, unlike the existing ones, the outer layer is formed not on the extrusion line, but on the bandage and autoclave section. The presented method makes it possible to impart uniformity to the surface, create the same thickness and texture along the entire length of the hose, avoiding deviations in thickness, thereby increasing its service life by 25-30%.*

**Ключевые слова:** шланг повышенной износостойкости, полипропилен, эластомер EPDM, рабочий ресурс, производство, автоматизация.

**Keywords:** peristaltic pump unit, wear-resistant hose, polypropylene, EPDM elastomer service life, production, automation.

### *Введение*

В промышленности одним из способов перемещения различных сред являются насосы [1-3]. Существует огромное многообразие применяемых конструкций, но не все подходят для перекачивания химически активных, высоковязких веществ и сред с инородными включениями [4]. Именно для транспортировки подобных жидкостей широкое распространение получили перистальтические насосы, отличающиеся своей герметичностью [5, 6]. Они состоят из привода, ротора, эластичного элемента (шланга), прижимных элементов (башмаков) и корпуса [7]. В конструкции насоса шланг и прижимные элементы образуют пару трения, которая способствует изнашиванию, поэтому эластичный элемент должен обладать повышенной износостойкостью [8-10].

Конструкция шланга представляет собой сочетание полимерных, а именно резиновых, слоев с армирующими элементами, которые увеличивают прочность и долговечность конструкции, позволяют выдерживать высокое давление рабочей среды, сохраняя при этом достаточную гибкость [11]. Такое строение обеспечивает высокие технические и эксплуатационные характеристики элемента. Наиболее предпочтительными материалами шланга являются EPDM-каучук, термопластичные полиолефины, термопластичные вулканизаты. В ходе производства применяются несколько технологических методов: прокладочный, навивочный, оплеточный, обмоточный и спиральный [12].

Рабочий ресурс определяется долговечностью, т.е. наработкой объекта от начала эксплуатации до наступления предельного

состояния, в качестве которого принимается предаварийное состояние [13, 14]. Его признаками является растрескивание, истирание и износ внешнего слоя [15].

Выход из строя эластичного элемента приводит агрегат в полную негодность до окончания установленного срока эксплуатации, поэтому повышение надежности и долговечности перистальтических насосов напрямую связано с увеличением рабочего ресурса шланга.

Целью работы является разработка технологии изготовления шланга повышенной износостойкости (ШПИ) с повышенным рабочим ресурсом.

### *Расчет рабочего ресурса шланга*

При оценке рабочего ресурса шланга повышенной износостойкости возможно использовать следующий описанный ниже метод в соответствии с ГОСТ 11012-2017.

Время наработки до отказа ШПИ  $T_0$  можно вычислить по формуле:

$$T_0 = \frac{\theta}{V_1 k}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – критическое значение унесенной массы, г;  $V_1$  – показатель истирания образца, г/ч;  $k = 0,011$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий условия ускоренных испытаний.

Критическое значение унесенной массы  $\theta$  можно определить через пороговое значение остаточной массы, ниже которой происходит недопустимое изменение геометрии шланга (уменьшение толщины стенки шланга), что приводит к увеличению зазора в поперечном сечении шланга и

снижению характеристик перистальтического насосного агрегата, таких как подача, КПД и др.

Показатель истирания образца  $V_1$ , г/ч, вычисляется по формуле:

$$V_1 = \frac{G - G_1}{t}, \quad (2)$$

где  $G$  – масса образца для испытания до истирания, г;  $G_1$  – масса образца для испытания после истирания, г;  $t$  – время проведения истирания, ч.

Зная время наработки до отказа экспериментального образца  $T_0$ , можно вычислить время наработки до отказа ШПИ  $T_{ШПИ}$  по формуле:

$$T_{ШПИ} = T_0 \cdot \gamma, \quad (3)$$

где  $\gamma = 0,185$  – масштабный коэффициент пропорциональности, связанный с отношением ширины образца к внешнему диаметру ШПИ.

Наработка до отказа будет считаться выдержавшей испытание, если вычисленное значение времени наработки до отказа ШПИ не меньше заданного в технических требованиях.

#### *Способы увеличения рабочего ресурса*

При необходимости увеличения рабочего ресурса возможно пользоваться двумя основными способами: конструктивным и технологическим.

Конструктивные способы увеличения рабочего ресурса основаны на модернизации конструкции шланга, что в свою очередь в существенной мере усложняет производство перистальтического насосного агрегата (ПНА). Поэтому было определено оптимальное конструктивное исполнение шланга – многослойная конструкция, состоящая из полимерного материала, армированного нейлоновым мягким кордом.

К числу технологических процессов, использование которых существенно повышает надежность и рабочий ресурс, относят:

- автоматизированные технологии всех видов;
- термообработку для снятия напряжений;

– химическую и физическую модификацию;

– неразрушающий контроль изделий.

Автоматизация технологических процессов повышает производительность оборудования, сокращает время на операции, улучшает качество и точность изготавливаемых изделий при экономичном расходовании материалов, а также позволяет осуществлять непрерывный рабочий процесс, исключая человеческий фактор.

Эффективность термической обработки зависит от температурного режима, используемого в процессе изготовления изделия. Для полимеров применяются четыре вида термической обработки, а именно закалка, отжиг, нормализация и отпуск.

Модифицирующему процессу можно подвергать как весь объем, так и только поверхностный слой резины. В результате можно получить следующие положительные результаты:

- доработка и улучшение технологии изготовления резиновых изделий;
- повышение физико-химических и физико-механических характеристик;
- увеличение долговечности и надежности изделий за счет снижения износа;
- усовершенствование методов контроля качества используемых материалов и изделий из них.

Химическая и физическая модификация резины позволяет уменьшить энергетические затраты, связанные с производством каучуков, а также снизить процентное содержание каучука в смесях за счет увеличения количества наполнителей неорганического и органического происхождения, что в свою очередь значительно ускоряет производственный процесс.

Для обеспечения стабильной и надежной работы элементов узлов машин, выполненных из резины, разработаны определенные схемы выбора материалов. На сегодняшний день существует большое количество компонентов, из которых можно изготовить резиновые смеси, в число которых входят: наполнители, активаторы, ускорители вулканизации, вулканизирующие агенты, пластификаторы и противостарители. Однако существующие комбинации

материалов не дают в полной мере возможностей решения поставленных задач, поэтому в рамках работы приводятся новые сочетания материалов.

В процессе создания состава ШПИ был определен материал основы: полимерная смесь на основе эластомера EPDM (полуфабрикат из сшитого пероксидным способом этилен-пропилен-диенового каучука). Для повышения прочностных характеристик и характеристик надежности и долговечности, стойкости к агрессивным и абразивным воздействиям в качестве модификатора выбран полипропилен. Исследованы следующие составы полимерных смесей:

1) эластомер EPDM и полипропилен PP при содержании PP от 20 до 25 %.

2) эластомер EPDM и полипропилен PP при содержании PP от 15 до 20 %,

3) материал на основе эластомера EPDM как основной эластомер, выступающий в качестве эталонного для сравнения разработанных комбинаций.

Данные сочетания повышают рабочий ресурс шлангов, т.к. обеспечивают стойкость к разрыву, истиранию и водяному пару, а также стойкость к остаточной деформации при сжатии, разбавленным кислотам, кетонам и щелочам [7, 9].

Изготавливаемые элементы конструкции перистальтического насосного агрегата с целью контроля качества должны подвергаться неразрушающему ультразвуковому контролю.

Анализатор томограмм осуществляет автоматический поиск дефектов на объектах контроля и создает FEM-совместимую (FEM – FiniteElementMethod) модель образцов с учетом обнаруженных дефектов. Данный метод позволяет:

– обнаруживать дефекты на томограммах для последующей оценки специалистом в части критичности;

– создавать трехмерную модель образца с учетом найденных дефектов;

– экспортировать модель объекта контроля в FEM-совместимом формате.

Метод конечных элементов является численным методом приближенного решения физических задач, с помощью которого

происходит более детальное исследование образцов.

*Описание технологического метода увеличения рабочего ресурса ШПИ*

Основной целью технологического метода увеличения рабочего ресурса является повышение качества заготовок ШПИ и применение современных автоматизированных процессов производства шлангов, в том числе связанных с совмещением технологических процессов, когда на одной производственной линии выполняется сразу несколько технологических операций, включая вулканизацию основных материалов, намотку армирующего слоя и т.д.

Применение автоматизированных процессов производства шлангов с совмещением технологических процессов имеет следующие преимущества:

- повышение производительности;
- улучшение качества продукции;
- непрерывность рабочего процесса;
- снижение количества брака.

Повышение скорости взаимодействия всех автоматизированно управляемых механизмов влияет на рост производительности, точность и стабильность производства, а также на качество продукции. Повышаются такие показатели, как надежность, долговечность и рабочий ресурс шланга, за счет отсутствия человеческого фактора.

Технологический процесс получения разрабатываемой многослойной конструкции ШПИ должен включать следующие последовательные операции:

– подготовительные операции, обеспечивающие подготовку основных конструкционных материалов для осуществления процесса получения конструкции ШПИ;

– вспомогательные операции, предназначенные для подготовки вспомогательного оборудования и материалов для дальнейшего осуществления процесса оплетки и армирования;

– основные операции, включающие в себя экструзию конструкционного материала, оплетку армирующего слоя, наложение сквиджа, вулканизацию полученной заготовки и процесс охлаждения и выбивки оснастки (дорна).

Процесс подготовки конструкционных материалов включает в себя:

- перемотку нитей армирующего слоя на шпули в катушках (стандартная заимствованная операция), которая осуществляется на тростильных станках;

- пропитку армирующего нейлонового волокна, которую предлагается осуществлять смесью латексов с резорцинформальдегидной смолой, для обеспечения большей адгезии, сцепления и склейки с внутренними и внешними слоями ШПИ.

*Схема автоматизированной линии для производства шланга*

Обычно производственная линия шлангов включает в себя следующие участки: зону начальной экструзии, на которой происходит экструдирование внутреннего слоя на дорн, зону плетения армирующего слоя на начальный слой (получение полуготового шланга), зону формирования путем экструдирования покровного (внешнего) слоя и зону извлечения дорна. С помощью вакуумного насоса внешний слой, представляющий форму кольца с толстой стенкой, прижимается к заготовке шланга, повышается адгезия между слоями и заполняются промежутки на промежуточной поверхности.

К недостаткам данного способа изготовления можно отнести высокий расход материала внешнего слоя, заполняющего зазоры промежуточного слоя, а также необходимость при производстве качественной продукции создания высокого разряжения для прижатия к заготовке шланга кольцевого элемента.

Для повышения технологичности процесса получения многослойной конструкции ШПИ и увеличения рабочего ресурса разработана технологическая схема изготовления, за основу которой взята производственная линия рукава высокого давления. Рассмотренная линия является автоматизированной и включает в себя следующие участки: 1 – подготовительный, 2 – экструзии, 3 – оплетки, 4 – банджа, 5 – автоклав, 6 – выбивки дорна, формирования готовой продукции и тестирования (рис. 1 – схема последовательной автоматизированной линии производства шланга).

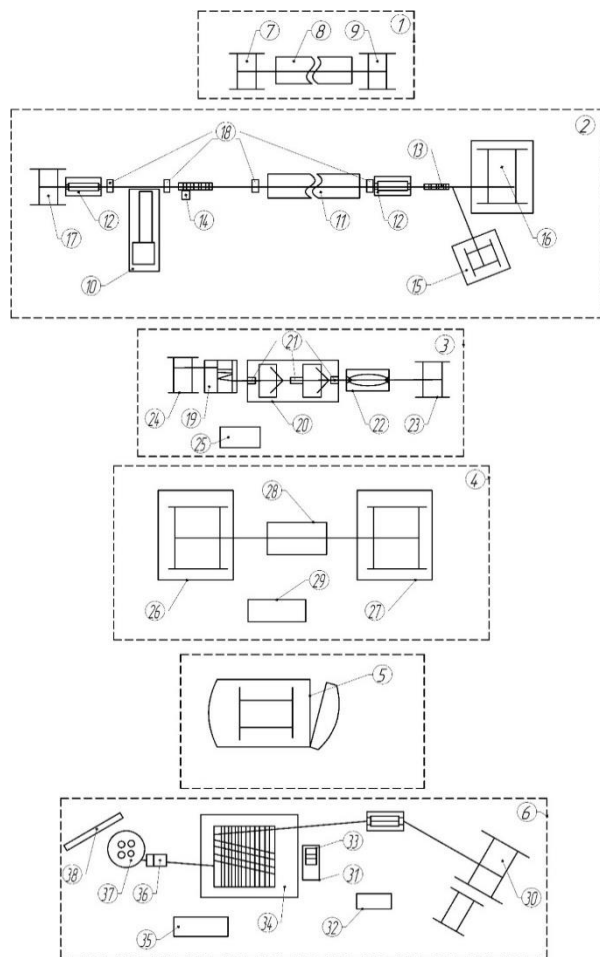


Рис. 1

На участке 1 происходит подготовка дорна, присутствует разматывающее устройство 7, узел нанесения разделительного средства на дорн 8, устройство намотки 9.

Узел 8 – бак или аналогичная емкость с насосом, обеспечивающим циркуляцию разделительного средства. Схема работы узла следующая: смазка, предварительно залитая в бак, по трубке циркулирует над дорном, таким образом обеспечивая смазку дорна.

На участке 2 присутствует экструдер для EPDM 10, ванна для охлаждения 11, устройство для транспортирования 12, рольганг 13, лазерный принтер 14, устройство для намотки, относящееся к технологическому барабану 15, устройство для намотки, относящееся к барабану вулканизации 16, устройство для размотки 17, измерительные головки в количестве четырех штук для контроля диаметров шлангов 18.

Участок оплетки 3 состоит из холодильника 19, машины для оплетки 20, оборудо-

вания для размещения среднего слоя сквида 21, транспортера 22, устройства для намотки 23, устройства, позволяющего проводить разматывающие операции, 24. На описанном участке в машину для оплетки 20 на шпулях с машины 25 подается заранее подготовленная проволока для перемотки армирующего слоя.

На участке бандажа 4 расположено устройство, позволяющее производить как наматывающие 26, так и разматывающие 27 операции, машина для бандажа 28, оборудование, проводящее подготовительные операции с лентой, 29.

На участке выбивки дорна 6 происходит формирование готовой продукции и тестирование. Данный участок включает в себя устройство для размотки, относящееся к вулканизационному барабану, 30; зону выпрессовки водяную 31, машину спайки дорна 32, пресс зажимной 33, барабаны в количестве двух штук 34, станцию насосную 35, счетчик метража 36, намоточный стол для бухт 37 и тельфер для снятия бухт 38.

Таким образом, в разработанной схеме, в отличие от существующих, внешний слой образуется не на линии экструзии, а на участке бандажа и автоклава. Представленный способ позволяет придать поверхности однородность, создать на протяжении всей длины шланга одинаковую толщину и текстуру, тем самым увеличив его срок службы на 25-30 %.

#### *Результаты и обсуждения*

Можно сформулировать следующие рекомендации по технологии изготовления ШПИ:

1. Процесс очистки и обработки дорна (для увеличения производительности рекомендуется использовать гибкий дорн) следует осуществлять мягкими войлочными тканями, мягкими щетками и обезжиривать эмульсионными полисилоксановыми обезжиривателями.

2. Процесс экструзии необходимо проводить на двухшнековом экструзионном оборудовании, позволяющем непрерывно выполнять процесс экструдирования. Немалозначимое преимущество данного оборудования заключается в простоте управления процессом за счет поддержания

требуемой величины давления и температурного режима, а также скорости выдавливания резиновой смеси через профилирующую шайбу. Применение разработанных составов полимерных смесевых термоэластопластов позволяет добиться повышения таких параметров, как удельная прочность, жесткость, износостойкость и усталостная прочность, увеличивает эластичность, упругость и химическую стойкость разрабатываемой конструкции ШПИ. Использование при производстве шлангов новых комбинаций термопластичных эластомеров ТРЕ и термоэластопластов на основе термопластичных полиолефинов ТРО (полимерная смесь на основе эластомера EPDM и полипропилена PP) позволяет шлангу выдерживать многократное сжатие и расширение.

3. Переработку EPDM+PP рекомендуется начинать при температуре, большей либо равной 100 °С. Далее вводится вулканизующая группа при высокой температуре, в результате чего происходит сшивание каучука. Затем идет процесс листования при температуре выше на 5-15 °С, после чего следует процесс грануляции при температуре 130-180 °С.

4. После экструзии для исключения возможных изменений геометрии и угла намотки армирующего слоя предлагается проводить охлаждение заготовки шланга в ванне с холодной водой.

5. Процесс оплетки армирующего слоя следует осуществлять по разработанной схеме армирования с равнопрочным углом армирования, равным  $\pm 45^\circ$ , на шпульной оплеточной машине. Для повышения адгезии намотанных слоев армирующего материала и увеличения упругих свойств конструкции ШПИ рекомендуется каждый слой армирующего материала проклеивать сквиджем на основе используемого конструкционного материала (в зависимости от исполнения EPDM/TPV/ТРО).

6. Процессы наложения и снятия бандажа осуществляются на одном и том же оборудовании (стандартном) при подготовке заготовки к вулканизации и после процесса охлаждения.



7. Процесс вулканизации (заимствованный процесс) необходимо проводить в автоклаве, предварительно разместив на транспортировочной траверсе несколько заготовок ШПИ.

8. Процесс выбивки дорна следует осуществлять непрерывным процессом с водяной выпрессовкой дорна, намоткой бухт и тельфер для снятия заготовки ШПИ.

9. Процесс выходного контроля готового изделия предлагается осуществлять методами неразрушающего контроля, при этом необходимо провести оценку рабочего ресурса экспериментальным методом.

Изложенная схема производства многослойной конструкции не является единственной и может иметь альтернативы. Для опытной технологической оценки эффективности представленной схемы изготовлен экспериментальный образец и проведена оценка наработки до отказа образца. Она составила 184,26 часа, в то время как наработка до отказа существующих на сегодняшний день шлангов составляет в среднем 135 часов.

## ВЫВОДЫ

В результате работы рассмотрен метод оценки рабочего ресурса ШПИ и различные способы его увеличения. На основе приведенного анализа разработана и представлена технологическая схема изготовления шланга повышенной износостойкости с увеличенным рабочим ресурсом перистальтического насосного агрегата.

Используя технологические рекомендации, представленные в данной работе, планируется организовать производственную линию шлангов многослойной конструкции с повышенной износостойкостью с увеличенным на 25-30 % временем наработки до отказа в сравнении с существующими за счет представленной технологии создания внешнего слоя шланга.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Габдулов И.Н. Классификация и основные параметры объемных насосов // 2019. № 25(74). С. 12...15.
2. Габдулов И.Н. Классификация и основные параметры динамических насосов // Аллея науки. 2019. Т. 1, № 9(36). С. 129...131.

3. Асфар Д.Б., Михайлова А.А., Худайбердина А.Р. Принцип работы тепловых насосов и их классификация // *CognitioRerum*. 2022. № 2. С. 11...15.

4. *Sadjiadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports*. 2023. V. 9, № 3. P. 386. – DOI: 10.1016/B978-0-08-101099-0.00008-2

5. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. V. 326. – DOI: 10.1016/j.sna.2021.112602

6. *Jönsson A., Toppi A., Dufva M.* The FAST Pump, a low-cost, easy to fabricate, SLA-3D-printed peristaltic pump for multi-channel systems in any lab // *Hardware X*. 2020. V. 8. – DOI: 10.1016/j.ohx. 2020.e00115.

7. *Гришин А.И., Лепешкин А.В.* Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия // *Известия МГТУ МАМИ*. 2021. Т. 15, № 4. С. 9...17.

8. *Saunier J., Yagoubi N.* Investigating the static or dynamic flexural and compressive stresses on flexible tubing: Comparison of clamp and peristaltic pump impact on surface damages and particles leaching during infusion acts // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021. V. 123. – DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104737.

9. *Гришин А.И.* Повышение эффективности эксплуатации перистальтического насоса линейного типа // *Известия МГТУ МАМИ*. 2020. № 4(46). С. 17.

10. *Saunier J., Khzam A., Yagoubi N.* Impact of mechanical stress on flexible tubing used for biomedical applications: Characterization of the damages and impact on the patient's health // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022. V. 136. – DOI: 10.1016/j.jmbbm.2022.105477.

11. *Traxl R., Mungenast D., Schennach O., Lackner R.* Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model // *International Journal of Engineering Science*. 2019. V. 141. P. 47...66.

12. *Зуев А.В.* Усовершенствование технологии изготовления шлангов наливной горловины пониженной топливопроницаемости // *Пластические массы*. 2009. №1. С.24...26.

13. *Михеев А.Ю.* Увеличение ресурса работы перистальтического шлангового насоса // *Материалы 54-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. тез. докл.* Уфа: Изд-во УГНТУ. 2003. С. 194...195.

14. *Александров И.А., Муранов А.Н., Михайлов М.С.* Разработка алгоритма автоматизированной оценки работоспособности конструктивных элементов запорной арматуры // *Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» (IT&QM&IS–2021)*. Ярославль: ГАПМ, 2021. С. 257...261.

15. *Vereschaka A., Milovich F., Andreev N., Sotova C., Alexandrov I., Muranov A., Mikhailov M., Tatarkanov A.* Investigation of the structure and phase composition of the microdroplets formed during the deposition of PVD coatings // *Surface and Coatings*

#### REFERENCES

1. *Gabdulov I.N.* Classification and main parameters of positive displacement pumps // 2019. № 25(74). P. 12...15.
2. *Gabdulov I.N.* Classification and main parameters of dynamic pumps // Alley of Science. 2019. V. 1, № 9(36). P. 129...131.
3. *Asfar D.B., Mikhailova A.A., Khudaiberdina A.R.* Principle of operation of heat pumps and their classification // *Cognitio Rerum*. 2022. № 2. P. 11...15.
4. *Sadjjadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports*. 2023. V. 9, № 3. P. 386...394. – DOI: 10.1016/B978-0-08-101099-0.00008-2.
5. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. V. 326. – DOI:10.1016/j.sna.2021.112602
6. *Jönsson A., Toppi A., Dufva M.* The FAST Pump, a low-cost, easy to fabricate, SLA-3D-printed peristaltic pump for multi-channel systems in any lab // *Hardware X*. 2020. V. 8. – DOI:10.1016/j.ohx. 2020.e00115.
7. *Grishin A. I., Lepeshkin A. V.* Investigation of the existing designs of pumps of peristaltic principle of action // *Izvestiya MSTU MAMI*. 2021. V. 15, № 4. P. 9...17.
8. *Saunier J., Yagoubi N.* Investigating the static or dynamic flexural and compressive stresses on flexible tubing: Comparison of clamp and peristaltic pump impact on surface damages and particles leaching during infusion acts // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021. V. 123. – DOI:10.1016/j.jmbbm.2021.104737.
9. *Grishin A.I.* Increase of operation efficiency of a peristaltic pump of linear type // *Izvestia MSTU MAMI*. 2020. № 4(46). P. 17.
10. *Saunier J., Khzam A., Yagoubi N.* Impact of mechanical stress on flexible tubing used for biomedical applications: Characterization of the damages and impact on the patient's health // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022. V. 136. – DOI:10.1016/j.jmbbm.2022.105477
11. *Traxl R., Mungenast D., Schennach O., Lackner R.* Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model // *International Journal of Engineering Science*. 2019. V. 141. P. 47...66. – DOI:10.1016/j.ijengsci.2019.05.006
12. *Zuev A.V.* Improvement of the technology of manufacturing of the filler neck hoses of reduced fuel permeability // *Plastic Masses*. 2009. №1. Pp. 24...26.
13. *Mikheev A.Yu.* Increase of peristaltic hose pump operation resource // *Materials of the 54th scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists: Collection of abstracts*. Ufa: UGNTU Publishing House. 2003. Pp. 194...195.
14. *Aleksandrov I.A., Muranov A.N., Mikhailov M.S.* Development of an algorithm for automated assessment of the performance of structural elements of valves // *Quality management, transport and information security, information technology (IT&QM&IS)*. Yaroslavl, 2021, Pp. 257...261.
15. *Vereschaka A., Milovich F., Andreev N., Sotova C., Alexandrov I., Muranov A., Mikhailov M., Tatarkanov A.* Investigation of the structure and phase composition of the microdroplets formed during the deposition of PVD coatings // *Surface and Coatings Technology*. 2022. Vol. 441. P. 128574. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2022.128574.

Рекомендована ученым советом Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук. Поступила 13.09.23.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТИН  
ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF COMPOSITE PLATES PROTECTIVE PROPERTIES  
FOR PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT**

*М.А. ФАРУХ<sup>1</sup>, М.В. КИСЕЛЕВ<sup>1</sup>, Д.А. САМОЙЛОВ<sup>2</sup>*

*M.A. FARUH<sup>1</sup>, M.V. KISELEV<sup>1</sup>, D.A. SAMOYLOV<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup>ООО НПО «Программируемые композиты»)*

*(<sup>2</sup>ООО «Центр инжиниринга и проектирования «Аванс»)*

*(<sup>1</sup>NPO "Programmable Composites" LLC)*

*(<sup>2</sup>Center of engineering and design "Advance")*

E-mail: faruh\_mihail@mail.ru, kisselev50@mail.ru, dmitrii\_samoilov@mail.ru

*В статье исследован процесс разрушения средств индивидуальной защиты из композитного материала при кинетическом воздействии с использованием стрелкового оружия. В работе описан поэтапный порядок проведения экспериментального исследования по пробитию средства индивидуальной защиты из композиционного материала, расположенного на регистрирующей среде (техническом пластилине), с определением глубины вмятины в пластилине. По результатам баллистических экспериментальных исследований проведено сравнение технических характеристик разработанного средства индивидуальной композиционной бронепластины с двумя другими аналогами. Сделан вывод о том, что разработанный композитный материал имеет существенно более высокие технические характеристики, чем рассмотренные аналоги отечественного и зарубежного производства.*

*The article examines the process of destruction of personal protective equipment made of composite material under kinetic impact using small arms. The paper describes a step-by-step procedure for conducting an experimental study on breaking through personal protective equipment made of a composite material located on a recording medium (technical plasticine) with determining the depth of the dent in the plasticine. Based on the results of ballistic experimental studies, the technical characteristics of the developed individual composite armor plate were compared with two other analogues. It was concluded that the developed composite material has significantly higher technical characteristics than the considered analogues of domestic and foreign production.*

**Ключевые слова:** средства индивидуальной защиты, баллистические экспериментальные исследования, разрушение композиционного материала на арамидной основе.

**Keywords:** personal protective equipment, ballistic experimental studies, destruction of aramid-based composite material.

В современном мире требования к средствам индивидуальной защиты, в том числе и бронезащиты, постоянно возрастают. В

Российской Федерации совершенствованию средств бронезащиты как с точки зрения их эффективности, так и экономичес-

ти уделяется значительное внимание со стороны широкого круга научных организаций и промышленных предприятий [1]. Одним из направлений совершенствования композитных материалов является замена таких дорогостоящих составляющих защитной системы, как карбид бора и специальные волокна из полиэтилена, используемые в различных иностранных средствах индивидуальной бронезащиты [2, 3].

Все новые образцы средств индивидуальной бронезащиты в обязательном порядке проходят большое количество баллистических испытаний на полигонах в соответствии со стандартами на испытания, и окончательные решения об их эффективности принимаются на основе практического опыта.

На этапе проектирования индивидуальных средств защиты активно применяются как методы компьютерного моделирования, так и прямые методы разрушающих испытаний. Моделирование динамического воздействия инденторов на элементы броневой защиты путем проведения вычислительной «стрельбы» на компьютере позволяет сократить время и значительные средства, необходимые для проведения натурных испытаний. На сегодняшний день представлено множество физических и математических моделей процессов высокоскоростного взаимодействия пуль и осколков с различными типами бронепреград [4-9]. Исследованиями вопросов деформирования и разрушения элементов бронезащиты, в том числе из арамидных тканей, при их взаимодействии с ударником и техническим пластилином занимались российские ученые А.В. Герасимов, Ю.И. Дмитриенко, И.Ф. Кобылкин, П.А. Моссаковский, Х.А. Рахматулин, С.Б. Сапожников, В.В. Селиванов, Е.Ф. Харченко, В.А. Григорян, В.М. Маринин и другие, авторами использовались экспериментальные методы компьютерное математическое моделирование.

Однако несмотря на наличие аналитических и численных методов, а также современного программного обеспечения численного моделирования типа LS-DYNA,

позволяющих выполнять достоверный анализ многомерных динамических процессов, связанных с пробиванием преград со сложной структурой индентором, до сих пор полученные расчетные показатели проверяются экспериментальной верификацией компьютерных данных.

Необходимо отметить, что при компьютерном моделировании встает проблема задания большого количества различных параметров, в частности, физико-механических характеристик материалов (прочностных и деформационных характеристик нитей, ткани при динамическом деформировании), учета геометрических особенностей внутренней структуры бронематериала на макро- и микроуровне, учета деформаций, неупругих эффектов, фазовых превращений, в том числе полиморфных, связанных с перестройкой кристаллической решетки материала в процессе деформирования, использования корректных механизмов разрушения, что часто приводит к большому числу допущений. Вследствие этого любая математическая модель всегда оказывается в некоторой степени ограниченной, применяемой лишь при определенных условиях и в конкретной задаче.

При этом экспериментальная отработка защитных структур, кроме верификации расчетных данных, дает возможность получить численные значения отдельных параметров, которые позволяют уточнить модели, полученные при компьютерном моделировании.

Анализ критериев оценки баллистической стойкости керамических материалов показал, что физико-механические показатели керамики, получаемые при статических испытаниях, позволяют оценивать баллистические характеристики керамики только на качественном уровне и не позволяют дать достоверную количественную оценку баллистической стойкости керамического материала. Поэтому необходимо опираться на прямые баллистические испытания в условиях высокоскоростного соударения, обеспечивающие оценку работоспособности керамики при высоких скоростях ее взаимодействия с ударником [10].

Прямой натурный баллистический эксперимент остается основным методом испытаний при разработке новых типов средств индивидуальной бронезащиты (СИБ). По стандартам Российской Федерации и других стран (США и Евросоюза) на пулезащитную экипировку сертификационные испытания (обстрел) СИБ проводят на техническом пластилине, являющемся регистрирующей средой. Глубина вмятины на поверхности такой среды (прогиб тыльной стороны бронезилета) является критерием качества защитной структуры и не должна превышать величины, заданной конкретным стандартом. Считается, что чем меньше глубина вмятины, тем выше качество бронезилета при прочих равных характеристиках и тем меньшую травму получит человек. В связи с этим задача достижения снижения глубины вмятины в регистрирующей среде при обязательном условии отсутствия увеличения веса бронезилета является актуальной.

В данной работе проведены экспериментальные испытания конкретных образцов защитных композиционных структур, разработанных и изготовленных авторами [11]. В ходе баллистических испытаний, реализованных в процессе исследования, были приняты соответствующие меры безопасности для персонала и окружающей среды.

Целью данного этапа исследования стали экспериментальные исследования деформирования и разрушения основных элементов средства индивидуальной бронезащиты, изготовленного на основе оригинальных бронепанелей и броневставок, предлагаемых авторами, при высокоскоростном локальном ударе и оценка их эффективности.

Планирование и проведение баллистического эксперимента предполагает среди прочего знание основных определений и понятий, которые важны для проводимого исследования и изложены в различных нормативных документах для данного типа изделий: ГОСТ 34286-2017 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования», ГОСТ Р 55623-2013 «Бронеодежда. Методы испытаний».

Экспериментальные исследования выполнены в условиях специализированного стрелкового комплекса.

В рамках натурального эксперимента проверялась гипотеза о возможности существенного снижения глубины вмятины в пластилине и повышения баллистического предела при локальном ударе за счет разработанной оригинальной структуры бронепанелей, изготовленных на основе оксида алюминия, карбида бора и арамидной ткани.

Перед проведением экспериментальных исследований защитных свойств баллистической преграды бронезилета был определен порядок работы в следующей последовательности:

1. Подбор сравниваемых бронеплит по классам.
2. Подготовка испытуемого образца.
3. Замер массы образца.
4. Подготовка и установка макета из пластилина (баллистической глины).
5. Установка преградного арамидного пакета с климатико-амортизационной подпорой (демпферного буфера) из ватина.
6. Добавление 10 мм плиты из прессованного СВМП.
7. Проведение отстрела 7,62x54 мм патронами с пулей Б-32, инд. 7-БЗ-3.
8. Проверка испытуемого образца после окончания опыта.
9. Фиксация количества пробитий или отсутствия пробития.

Для сравнения полученных экспериментальных данных с эталоном использованы бронезащитный элемент керамокомпозитный с двояковыпуклой анатомической формой по классу защиты БР5 (ГОСТ 34286-2017), размер (L) 260\*340 мм, уровень защиты IV по стандарту США NIJ 01.01.06 от компании «Щелковская шелкоткацкая фабрика» и бронеплита тип XIV-A от производителя KLUZ (г. Белград) с уровнем защиты IIIA в соответствии с NIJ стандартом 01.01.03.

Броня пятого класса рассчитана на отражение ударов небронбойных пуль калибра 5,45 и 7,62 мм. Дальность выстрела обычными пулями здесь не превышает 5 м, бронбойными – 10 м, от пистолетных выстрелов защищает в упор. Вес бронжилетов может варьироваться в пределах от 11 до 20 кг.

Шестой класс предполагает обеспечение защиты от поражения снайперской винтовкой СВД. Патроны 7,62 мм и 57-БЗ-231 с пульей БЗ не смогут проникнуть через бронежилет. Также броня устраняет убойное действие 7,62 мм патрона 7Н13 и 7,62 мм патрона 7-БЗ-3 с пульей Б-32.

Таблица 1

ГОСТ (Россия)	NIJ (США)	DIN (Германия)	CEN (Европа)
С, С1, С2	I	L	BR1
Бр 1	I - IIIA	I	BR2, BR3
Бр 2	—	II	SG1, SG2
Бр 3	—	II	BR4
Бр 4	III	III	BR5
Бр 5	—	—	BR6
Бр 6	IV	IV	BR7

Соответствие классов стандартов разных стран представлено в табл. 1 [12].

Из классификации бронеодежды (табл. 1) следует, что наиболее полный ее вариант существует в России и Европе.

Подготовка к испытаниям и выставление макета из пластилина с климатико-амортизационной подпорой, предназначенной для циркуляции воздуха и отвода влаги из-под бронежилета, а также для некоторого смягчения запреградной (компрессионной) травмы, наносимой попаданием в бронежилет из огнестрельного оружия, представлены на рис. 1.



а) б)

Рис. 1

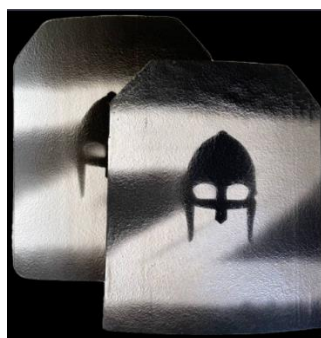


Рис. 2

Испытуемый объект представлен на рис. 2.

По объекту испытаний – бронежилет – произвели стрельбу боевыми патронами с применением специальных баллистических стволов. Баллистическая оценка бронежилет

проводилась при ударе из автоматического стрелкового оружия следующим индентором: 7,62x54 мм патрон с пульей Б-32, инд. 7-БЗ-3. Произведено пять выстрелов, начальная скорость пули 825 м/с (2707 футов/с). Результат представлен на рис. 3.



Рис. 3

Как видно на фото (рис. 3), пробитие отсутствует, заброневое воздействие после выстрелов минимальное (7 мм) при допустимом – 21 мм. Это означает, что человек, защищенный такой плитой, не получит травмы и сможет продолжить выполнять поставленные задачи. Анализ результатов испытаний посредством визуального обследования кратеров после эксперимента позволил сделать вывод, что плита способна выдержать пять прямых попаданий от патронов 7,62x54 с бронебойными пулями ТУС, Б32 и от пистолетных патронов 9x18, 9x19, 7,62x25 с мягкими сердечниками, тем самым рассеять и поглотить кинетическую энергию ударника.

Сравнение технических характеристик бронежилета, основу которого составляет разработанная в ходе исследования композиционная бронепластина, выполнялось с аналогом отечественного производства – штурмовым бронежилетом «ББ43», стоящим на вооружении в РФ в настоящее время, и иностранным аналогом IOTV Gen II (Improved Outer Tactical Vest), использующим кевларовые или керамокомпозитные материалы в качестве основного элемента бронезащиты. Сравнительные данные приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Марка (название) бронежилета	Вес бронежилета (без брони), кг	Вес бронеплиты, кг	Размер	Общая площадь защиты, дм <sup>2</sup>	Дополнительные элементы	Класс защиты
Разработанный бронежилет	4,5	2,95	М	90	Система MOLLE	6А по ГОСТ Р 50744-95
ББ43	5	5	М	69,5	-	6 по ГОСТ Р 50744-95
IOTV Gen II	6,85	3,25	М	83,19	Система MOLLE	IV (NIJ) (6 по ГОСТ Р 50744-95)

Анализ данных табл. 2 показывает, что разработанная новая модель средства индивидуальной бронезащиты имеет существенно более высокие технические характеристики, чем рассмотренные аналоги отечественного и зарубежного производства. В частности, вес бронежилета снизился на 10% по сравнению с имеющимся российским аналогом и на 34% ниже зарубежного. Соответственно вес бронеплиты в новом бронежилете самый меньший из аналогов. При этом новый вариант бронежилета имеет наибольшую площадь защиты, дополнительные элементы и отвечает самому высокому классу защиты 6А.

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментальным путем выполнено сравнение технических характеристик разработанного нового бронежилета с двумя другими аналогами отечественного и зарубежного производства: штурмовым бронежилетом «ББ43», стоящим на воору-

жении в РФ в настоящее время, и американским аналогом IOTV Gen II (Improved Outer Tactical Vest).

2. Проведены баллистические испытания бронеплит производителя KLUZ (г. Белград, Сербия) и компании «Щелковская шелкоткацкая фабрика» (г. Щелково, Московская область, Россия).

3. Экспериментально показано, что разработанная модель композиционной бронепластины, являющейся основным элементом бронежилета, превосходит все имеющиеся аналоги по техническим характеристикам, определяющим эффективность средства индивидуальной бронезащиты, – баллистической прочности и предельной массе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Птичкин С.* Российские бронежилеты и шлемы стали лучшими в мире. – <https://tg.ru/2022/07/11/rossijskie-bronezhilet-y-i-shlemy-stali-luchshimi-v-mire.html>.



2. *Зайцев Г.П.* Корундовая бронекерамика: опыт производства и применения // Экспертный союз. – <http://unionexpert.su/korundovaya-bronekeramika-opyt-proizvodstva-i-primeneniya>.

3. В России провели успешные баллистические испытания керамической брони. – <https://topwar.ru/174736-v-rossii-proveli-uspeshnye-ballisticheskie-ispytaniya-keramicheskoy-broni.html>.

4. *Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М., Чистяков Н.Н.* Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / под ред. В.А. Григоряна. М.: РадиоСофт, 2008. 406 с.

5. *Берендеев Н.Н.* Описание поведения тканого композита при статическом нагружении с использованием структурной модели // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 4 (1). С. 173...179.

6. *Долганина Н.Ю.* Оценка баллистического предела и прогиба многослойных тканевых пластин при ударе индентором // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2010. Вып. 15. № 10(186). С. 17...23.

7. *Моссаковский П.А., Антонов Ф.К., Белякова Т.А., Костырева Л.А., Брагов А.М., Баландин В.В.* Экспериментальное исследование и конечно-элементный анализ тканевых композитов в условиях ударного нагружения // Проблемы прочности и пластичности. 2014. Вып. 76(1). С. 39...45.

8. *Ignatova A.V., Kudryavtsev O.A., Zhikharev M.V.* Influence of surface polymer coating on ballistic impact response of multi-layered fabric composites: Experimental and numerical study // International Journal of Impact Engineering. 2020. Vol. 144.No. 103654. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103654.

9. *Киселев М.В., Фарух М.А., Елсуков Е.С.* Математическая модель динамического поведения арамидной ткани «Русар» при пробитии пульей // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Н.А. Васильева. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. Ч. 1. С. 127...131.

10. *Гриневич А.В., Лавров А.В.* Оценка баллистических характеристик керамических материалов // Труды ВИАМ: научно-технический журнал. 2018. №3(63). С. 91...102.

11. *Фарух М.А., Киселев М.В., Самойлов Д.А.* Разработка структуры защитных композиционных пластин для средств индивидуальной защиты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №4 (406). С. 231...235.

12. *Тактический бронежилет: классы защиты и правила эксплуатации.* – <https://ria.ru/20221017/bronezhilet-1824664542.html> (дата обращения: 01.07.2023).

## REFERENCES

1. *Ptichkin S.* Russian body armor and helmets have become the best in the world. –

<https://rg.ru/2022/07/11/rossijskie-bronezhilye-i-shlemy-stali-luchshimi-v-mire.html>.

2. *Zaitsev G.P.* Corundum armored ceramics: production and application experience // Expert Union. – <http://unionexpert.su/korundovaya-bronekeramika-opyt-proizvodstva-i-primeneniya>.

3. Successful ballistic tests of ceramic armor were carried out in Russia. – <https://topwar.ru/174736-v-rossii-proveli-uspeshnye-ballisticheskie-ispytaniya-keramicheskoy-broni.html>.

4. *Grigoryan V.A., Kobylykin I.F., Marinin V.M., Chistyakov N.N.* Materials and protective structures for local and individual armor / edited by V.A. Grigoryan. M.: Publishing house. RadioSoft, 2008. 406 p.

5. *Berendeev N.N.* Description of the behavior of a woven composite under static loading using a structural model // Bulletin of Nizhny Novgorod University N.I. Lobachevsky. 2013. No. 4 (1). P. 173...179.

6. *Dolganina N.Yu.* Evaluation of the ballistic limit and deflection of multilayer fabric plates upon impact with an indenter // Bulletin of SUSU. Series: Mechanical engineering. 2010. 15. No. 10(186). P. 17...23.

7. *Mossakovsky P.A., Antonov F.K., Belyakova T.A., Kostyeva L.A., Bragov A.M., Balandin V.V.* Experimental study and finite element analysis of fabric composites under impact loading // Problems of Strength and Plasticity. 2014. Issue. 76(1). Pp. 39...45.

8. *Ignatova A.V., Kudryavtsev O.A., Zhikharev M.V.* Influence of surface polymer coating on ballistic impact response of multi-layered fabric composites: Experimental and numerical study // International Journal of Impact Engineering. 2020. Vol. 144. No. 103654. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103654.

9. *Kiselev M.V., Farukh M.A., Elsuikov E.S.* Mathematical model of the dynamic behavior of aramid fabric “Rusar” when pierced by a bullet // Collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor N.A. Vasilyeva. Moscow, May 26, 2021. M.: RSU named after. A.N. Kosygina, 2021. Part 1. P. 127...131.

10. *Grinevich A.V., Lavrov A.V.* Assessment of ballistic characteristics of ceramic materials // Proceedings of VIAM: Scientific and technical journal. 2018. No. 3(63). P.91...102.

11. *Farukh M.A., Kiselev M.V., Samoilov D.A.* Development of the structure of protective composite plates for personal protective equipment // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 4 (406). P. 231...235.

12. *Tactical body armor: protection classes and operating rules.* – <https://ria.ru/20221017/bronezhilet-1824664542.html> (date of access: 07/01/2023).

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения Костромского государственного университета. Поступила 09.10.23.

## ФОТО- И ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТРИЦ ПОЛИЛАКТИД-НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК\*

### PHOTO- AND THERMO-OXIDATIVE DEGRADATION OF FIBROUS MATRICES POLYLACTIDE-NATURAL RUBBER

М.В. ПОДЗОРОВА<sup>1</sup>, Ю.В. ТЕРТЫШНАЯ<sup>1</sup>, Т.В. МОНАХОВА<sup>2</sup>

M.V. PODZOROVA<sup>1</sup>, YU.V. TERTYSHNAYA<sup>1</sup>, T.V. MONAKHOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,

<sup>2</sup>Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН)

(<sup>1</sup>Plekhanov Russian University of Economics,

<sup>2</sup>Emanuel Institute of Biochemical Physics Russian Academy of Sciences)

E-mail: mariapdz@mail.ru

*В работе представлены результаты анализа структуры исходных волокнистых материалов на основе полилактида с добавкой натурального каучука и после действия УФ-излучения и кислорода. Исследование проводилось с использованием различных методов, таких как дифференциальная сканирующая калориметрия, ИК-спектроскопия. Несмотря на схожий механизм разрушения полилактида при воздействии ультрафиолета и кислорода, каждый из этих факторов влияет на определенные структурные характеристики. Так, при фотодеструкции происходит активное разрушение кристаллической фазы полилактида. Поскольку полилактид малопроницаем для кислорода из-за достаточно высокой степени кристалличности, то высокой скорости реакции по уравнениям продолжения кинетической цепи не наблюдается:  $R\cdot + O_2 \rightarrow RO_2\cdot$  и  $RO_2\cdot + RH \rightarrow ROOH + R\cdot$ . Установлено, что при воздействии 500 часов УФ-излучения длиной волны 365 нм происходит снижение температуры плавления полилактида на 6 °С и степени кристалличности на 5%. При термоокислительной деструкции у полилактида исчезает пик холодной кристаллизации. Происходящие изменения в свойствах материала свидетельствуют о начале деструкции.*

*The paper presents the results of structure analysis of the initial fibrous materials based on polylactide with the addition of natural rubber and after exposure to UV radiation and oxygen. The study was carried out using various methods, such as differential scanning calorimetry, IR spectroscopy. Despite the similar mechanism of destruction of polylactide when exposed to ultraviolet and oxygen, each of these factors affects certain structural characteristics. Thus, during photodegradation, the active destruction of the crystalline phase of polylactide occurs. Considering that polylactide is poorly permeable to oxygen due to a sufficiently high degree of crystallinity, a high reaction rate according to the equations of kinetic chain continuation:  $R\cdot + O_2 \rightarrow RO_2\cdot$  and  $RO_2\cdot + RH \rightarrow ROOH + R\cdot$  is not observed. It has been established that when exposed to 500 hours of UV radiation with a wavelength of*

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2082.2022.1.3 «Функциональные экоматериалы на основе полилактида и натурального каучука для промышленности и "зеленых" технологий выращивания сельскохозяйственных культур».

*365 nm, the melting point of polylactide decreases by 6 °C and the degree of crystallinity by 5%. During thermally oxidized degradation of polylactide, the peak of its cold crystallization disappears. The changes in the properties of the material indicate the beginning of destruction.*

**Ключевые слова:** полилактид, натуральный каучук, нетканый материал, фотодеградация, термоокислительная деструкция.

**Keywords:** polylactide, natural rubber, nonwoven fabric, photodegradation, thermal oxidative degradation.

Кислород является мощным активатором деструкционных процессов в полимерах. Фото- и термоокисление представляет собой одновременное действие ультрафиолетового излучения или температуры и кислорода. Важно отметить, что комплексное воздействие солнечного света и температуры оказывает дополнительное влияние на полимерную матрицу. Полимеры обычно подвергаются термо- и фотоокислительному разложению как в процессе обработки, так и при эксплуатации, что влияет на их характеристики, особенно при длительном применении [1-3].

В бинарных системах существует зависимость скорости окисления от состава композиции. Есть несколько причин, влияющих на процесс окисления, одной из главных является степень кристалличности полимера. Кристаллиты могут выступать в роли «ловушек» радикалов и тем самым снижать скорость термоокисления. Так, полилактид (ПЛА) за счет своей высокой кристалличности окисляется медленнее полиэтилена. С другой стороны, на ПЛА значительно оказывает воздействие фотоокислительная деградация. В результате фотоокислительных процессов полилактид и изделия на его основе изменяют цвет, химические свойства, а также теряют свои эксплуатационные характеристики [4-5].

Полимолочная кислота или полилактид – это относительно новый полиэфир, относящийся к биоразлагаемым полимерам. Он обладает хорошими термопластичными свойствами, хорошей обрабатываемостью и отвечает требованиям экологичности. По этим причинам ПЛА считается перспективным претендентом на замену более традиционных материалов из полиолефинов в

различных отраслях промышленности (упаковка, пленки для агропромышленности, волокнистые материалы и т.д.). Однако характеристики ПЛА с точки зрения долговечности ограничены множеством механизмов химического старения, таких как гидролиз, термическое разложение, фотоокисление в естественных атмосферных условиях и термоокисление при высокой температуре. Изучение кинетики фотодеструкции и термоокислительного разрушения может помочь в понимании механизмов разложения и анализе процессов деструкции [6-11].

В частности, разрушение ПЛА при нормальной температуре обработки (около 180-190 °C) происходит по механизму случайного разрыва цепи, определяющему значительный уровень молекулярной деградации и охрупчивания полимера [12, 13]. Под влиянием ультрафиолетового излучения происходит перенос водорода на карбонильную группу [14]. Продуктами вышеупомянутой реакции являются карбоновая кислота и сложный эфир, содержащий двойные связи C=C.

В работе [15] авторы предположили, что механизм фотодegradации при длинах волн выше 300 нм протекает с образованием ангидридных групп. Фотоокисление стимулирует образование ангидридных функциональных групп и таким образом способствует гидролизу и биодegradации полилактида и композитов на его основе. Основным механизмом фотоокисления полилактида является механизм Норриша-II [14-16].

Изучение процессов, происходящих под влиянием нескольких факторов, особенно кислорода, температуры и УФ-излучения, крайне важно с точки зрения анализа экс-

плуатационных свойств материалов на основе биоразлагаемых полимеров. В данной работе рассмотрено влияние УФ-излучения и кислорода на волокнистые нетканые материалы на основе полилактида и натурального каучука (НК), который увеличивает эластичность полученных образцов ПЛА/НК.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования методом электроформования (рис. 1) получен нетканый материал на основе полилактида (марка 4032D, NatureWorks, США) и натурального каучука (марка SVR-3L, Вьетнам). Содержание НК в образцах составило 0, 5, 10 и 15 мас. %.



Рис. 1

С помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC 214 Polyma (Netzsch, Германия) определены теплофизические характеристики образцов. Испытание проводилось при скорости нагрева 10 град/мин и массе образца  $(5 \pm 0,3)$  мг.

Величину степени кристалличности рассчитывали по формуле:

$$\chi (\%) = 100\Delta H_{\text{пл}} / \Delta H_{\text{пл}}^*, \quad (1)$$

где  $\chi$  – степень кристалличности;  $\Delta H_{\text{пл}}^*$  – теплота плавления 100% кристалла, равная 93,1 Дж/г [18];  $\Delta H_{\text{пл}}$  – теплота плавления, полученная экспериментально.

Инфракрасные спектры образцов регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре Lamos (Bruker, Германия) при  $T = (23 \pm 2)$  °С в диапазоне волновых чисел  $4000 \leq \nu \leq 600 \text{ см}^{-1}$  в отраженном свете методом нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО).

В работе проводилось исследование кинетики окисления ПЛА и смесей на его основе на манометрической установке с поглощением летучих продуктов окисления КОН. Эксперимент проводили при давлении кислорода 300 мм рт. ст. и температуре 90 °С.

Оценку влияния УФ-излучения осуществляли с помощью источника УФ-излучения Vilber Lourmat 6 – LC (Франция) с длиной волны 365 нм в течение 500 часов при  $T=21$  °С.

#### Экспериментальная часть

Согласно некоторым исследованиям, летучие газообразные продукты, образующиеся при термическом разложении ПЛА, содержат преимущественно лактид, циклические олигомеры, ацетальдегид, диоксид углерода, монооксид углерода [19, 20].

На сегодняшний день существует множество исследований, касающихся термического разложения ПЛА, но большинство сосредоточено на поведении и кинетике разложения, немногие исследования касаются термического и термоокислительного разложения композитов ПЛА/НК. Добавка натурального каучука в матрицу полилактида способствует не только увеличению эластичности полилактида, но и ускорению биоразложения.

Добавление НК в матрицу полилактида оказывает влияние на скорость процесса окисления. Определено, что при добавлении НК в матрицу ПЛА процесс термоокисления ускоряется из-за увеличения количества аморфной фазы, а процесс фотодеструкции, наоборот, затормаживается. В работе [21] показано, что эффективная энергия активации процесса термоокисления ПЛА при  $T= 80, 90$  и  $110$  °С достигает 120 кДж/моль, при этом бинарные смеси ПЛА/ПЭНП имеют более низкие значения, что свидетельствует об интенсивности процесса термоокислительной деструкции. При повышении температуры увеличивается кинетическая энергия молекул исходных веществ, соответственно уменьшается количество энергии, необходимой для доведения молекул до активного состояния.

В процессе исследования термоокисления (рис. 2) и фотодеструкции (рис. 3) отмечаются изменения на ИК-спектрах ПЛА: в

области 4000-3500  $\text{см}^{-1}$  образуются пики 3742 и 3820  $\text{см}^{-1}$ , которые можно отнести к колебаниям ОН-групп концевых звеньев полилактида. Появление полос 1657 и 1540  $\text{см}^{-1}$ , относящихся к колебаниям винильной группы, характеризует подверженность деградации ПЛА как фото-, так и термоокислительной.

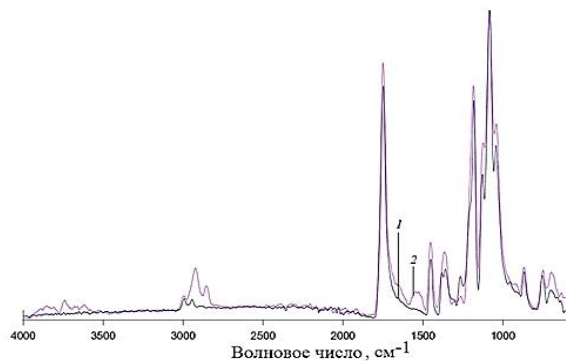


Рис. 2

При воздействии светового излучения наблюдается небольшое уменьшение структурно-чувствительных полос 755 и 865  $\text{см}^{-1}$ , которые относятся к кристаллической и аморфной фазе полилактида соответственно. Данный факт свидетельствует об активном влиянии ультрафиолета на разрушение матрицы ПЛА [6, 8, 16].

В результате исследования определены теплофизические характеристики образцов ПЛА/НК (табл. 1). Установлено, что

добавление НК способствует повышению температуры плавления и степени кристалличности исходных образцов.

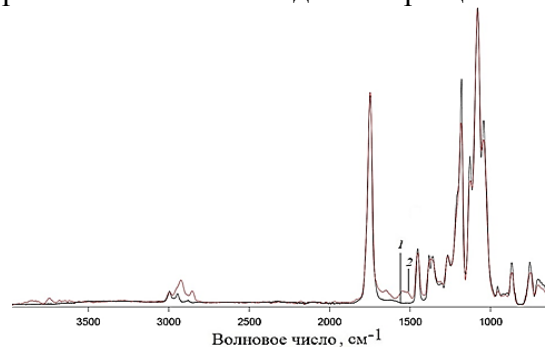


Рис. 3

После фотодеструкции отмечается снижение температуры плавления и степени кристалличности ПЛА на 6 °С и 5 % соответственно. Снижения значений теплофизических характеристик в композициях ПЛА/НК менее значимы, поскольку добавление НК несколько ингибирует данный процесс. В случае термоокислительной деградации наблюдается обратный эффект: добавление НК ускоряет процесс термоокисления. Волокнистые материалы ПЛА/НК окисляются быстрее чистого ПЛА. При этом температура холодной кристаллизации ПЛА практически исчезает, а температура плавления и степень кристалличности возрастают.

Таблица 1

НК, мас. %	T <sub>пл</sub> , °С (Δ ± 0,5 °С)			χ, % (Δ ± 1 %)		
	Исх.	После термоокисления	После УФ	Исх.	После термоокисления	После УФ
0	164	166	158	33	41	28
5	168	169	163	36	39	32
10	167	166	165	36	39	34
15	167	168	164	35	38	33

## ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты демонстрируют, что независимо от содержания НК все образцы волокнистых материалов ПЛА/НК сохраняют способность к фотодegradации из-за преобладающей фазы полилактида. Определено, что добавка натурального каучука в композиции ускоряет начальный этап поглощения кислорода и

процесс термоокислительной деградации волокнистых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подзорова М.В., Тертышина Ю.В., Монахова Т.В., Попов А.А. Термоокисление и структура смесей на основе полилактида и полиэтилена // Химическая физика. 2016. Т. 35, № 9. С. 64...69.
2. Тертышина Ю.В., Шибряева Л.С., Попов А.А. Термоокислительная деградация смесей на основе

поли-3-гидроксibuтирата. Особенности процесса // Химическая физика. 2012. Т.31, № 1. С. 43...47.

3. Монахова Т.В., Недорезова П.М., Польщиков С.В., Попов А.А., Марголин А.Л. Термоокислительные и хемилюминесценция полипропилен-графитовых композиций // Химическая физика. 2014. Т. 33, № 11. С. 74.

4. Tsuji H., Echizen Y., Saha S.K., Nishimura Y. Photodegradation of poly(L-lactic acid): effects of photosensitizer // Macromolecular Materials and Engineering. 2005. V. 290. № 12. P. 1192...1203.

5. Bocchini S., Fukushima K., Di Blasio A., Fina A., Geobaldo F.F. Polylactic acid and polylactic acid-based nanocomposite photooxidation // Biomacromolecules. 2010. V. 11. P. 2919...2926.

6. Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Московский М.Н. Фотодеградация композиционных материалов полилактид – натуральный каучук // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2022. Т. 12, № 4. С. 118...124.

7. Santonja-Blasco L., Ribes-Greus A., Alamo R.G. Comparative thermal, biological and photodegradation kinetics of polylactide and effect on crystallization rates // Polymer Degradation and Stability. 2013. V. 98. № 3. P. 771...784.

8. Тертышная Ю.В., Подзорова М.В. Влияние ультрафиолетового излучения на структурно-динамические характеристики полилактида и его смесей с полиэтиленом // Химическая физика. 2020. Т. 39, № 1. С. 57...65.

9. Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Impact of water and UV irradiation on nonwoven polylactide/natural rubber fiber // Polymers. 2021. V. 13. P. 461.

10. Lv Sh., Zhang Y., Tan H. Thermal and thermo-oxidative degradation kinetics and characteristics of poly (lactic acid) and its composites // Waste Management. 2019. V. 87. P. 335...344.

11. Santonja-Blasco L., Ribes-Greus A., Alamo R.G. Comparative thermal, biological and photodegradation kinetics of polylactide and effect on crystallization rates // Polymer Degradation and Stability. 2013. № 98. P. 771...784.

12. Kopinke F.D., Remmler M., Mackenzie K., Moder M., Wachsen O. Thermal decomposition of biodegradable polyesters. 2. Poly(lactic acid) // Polymer Degradation and Stability. 1996. V. 53. P. 329...342.

13. Тертышная Ю.В., Карпова С.Г., Шаталова О.В., Кривандин А.В., Шибряева Л.С. Влияние температуры на молекулярную подвижность в полилактиде // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2016. Т. 58, № 1. С. 54...60.

14. Bocchini S., Fukushima K., Di Blasio A., Fina A., Frache A., Geobaldo F. Polylactic acid and polylactic acid-based nanocomposite photooxidation // Biomacromolecules. 2010. V. 11. P. 2919...2926.

15. Gardette M., Thérias S., Gardette J.L., Murariu M., Dubois P. Photooxidation of polylactide/calcium sulphate composites // Polymer Degradation and Stability. 2011. V. 96. P. 616...623.

16. Olewnik-Kruszkowska E., Koter I., Skopinska-Wisniewskab J., Richert J. Degradation of polylactide

composites under UV irradiation at 254 nm // J. Photochem. Photobiol. A. 2015. № 311. P. 144...153.

17. Tertyshnaya Y.V., Podzorova M.V., Varyan I.A., Tcherdyntsev V.V., Zadorozhnyy M.Y., Medvedeva E.V. Promising Agromaterials Based on Biodegradable Polymers: Polylactide and Poly-3-Hydroxybutyrate // Polymers. 2023. V.15. P. 1029.

18. Lim L-T., Auras R., Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid) // Progress in Polymer Science. 2008, V. 33. P. 820...852.

19. Arrieta M.P., Parres F., López J., Jiménez A. Development of a novel pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry method for the analysis of poly(lactic acid) thermal degradation products // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013. V. 101. P. 150...155.

20. Li J., Zheng W., Li L., Zheng Y., Lou X. Thermal degradation kinetics of g-HA/PLA composite // Thermochimica Acta. 2009. V. 493. P. 90...95

21. Podzorova M.V., Tertyshnaya Y.V. Kinetic patterns for thermal oxidation of binary and ternary blends based on polylactide and polyethylene // Russian Chemical Bulletin. 2021. Т. 70, № 9. С. 1791...1797.

## REFERENCES

1. Podzorova M.V., Tertyshnaya Y.V., Monakhova T.V., Popov A.A. Thermal oxidation and structure of polylactide-polyethylene blends // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2016. Т. 10, № 5. С. 825...829.

2. Tertyshnaya Yu.V., Shibryaeva L.S., Popov A.A. Thermooxidative degradation of blends based on poly(3-hydroxybutyrate). Specifics of the process // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2012. V. 6, № 1. P. 38...41.

3. Monakhova T.V., Popov A.A., Margolin A.L., Nedorezova P.M., Pol'shchikov S.V. Thermooxidation and chemiluminescence of polypropylene-graphite compositions // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2014. Т. 8, № 6. P. 874...880.

4. Tsuji H., Echizen Y., Saha S.K., Nishimura Y. Photodegradation of poly(L-lactic acid): effects of photosensitizer // Macromolecular Materials and Engineering. 2005. V. 290, № 12. P. 1192...1203.

5. Bocchini S., Fukushima K., Di Blasio A., Fina A., Geobaldo F.F. Polylactic acid and polylactic acid-based nanocomposite photooxidation // Biomacromolecules. 2010. V. 11. P. 2919...2926.

6. Podzorova M.V., Tertyshnaya Y.V., Moskovskii M.N. Photodegradation of composite materials polylactide – natural rubber // Proceedings of Kabardino-Balkarian State University. 2022. Т. 12, № 4. P. 118...124.

7. Santonja-Blasco L., Ribes-Greus A., Alamo R.G. Comparative thermal, biological and photodegradation kinetics of polylactide and effect on crystallization rates // Polymer Degradation and Stability. 2013. V.98. № 3. P. 771...784.

8. Tertyshnaya Yu.V., Podzorova M.V. Effect of UV irradiation on the structural and dynamic characteristics of polylactide and its blends with polyethylene // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2020. Т. 14. № 1. С. 167...175.

9. *Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M.* Impact of water and UV irradiation on nonwoven polylactide/natural rubber fiber // *Polymers*. 2021. V. 13. P. 461.

10. *Ly Sh., Zhang Y., Tan H.* Thermal and thermo-oxidative degradation kinetics and characteristics of poly (lactic acid) and its composites // *Waste Management*. 2019. V. 87. P. 335...344.

11. *Santonja-Blasco L., Ribes-Greus A., Alamo R.G.* Comparative thermal, biological and photodegradation kinetics of polylactide and effect on crystallization rates // *Polymer Degradation and Stability*. 2013. № 98. P. 771...784.

12. *Kopinke F.D., Remmler M., Mackenzie K., Moder M., Wachsen O.* Thermal decomposition of biodegradable polyesters. 2. Poly(lactic acid) // *Polymer Degradation and Stability*. 1996. V. 53. P. 329...342.

13. *Tertyshnaya Y.V., Karpova S.G., Shatalova O.V., Krivandin A.V., Shibryaeva L.S.* Effect of temperature on the molecular mobility in polylactide // *Polymer Science, Series A*. 2016. T. 58, № 1. C. 50...56.

14. *Bocchini S., Fukushima K., Di Blasio A., Fina A., Frache A., Geobaldo F.* Polylactic acid and polylactic acid-based nanocomposite photooxidation // *Biomacromolecules*. 2010. V.11. P. 2919...2926.

15. *Gardette M., Thérias S., Gardette J.L., Murariu M., Dubois P.* Photooxidation of polylactide/calcium sulphate composites // *Polymer Degradation and Stability*. 2011. V. 96. P. 616...623.

16. *Olewnik-Kruszkowska E., Koter I., Skopinska-Wisniewskab J., Richert J.* Degradation of polylactide

composites under UV irradiation at 254 nm // *J. Photochem. Photobiol. A*. 2015. № 311. P. 144...153.

17. *Tertyshnaya Y.V., Podzorova M.V., Varyan I.A., Tcherdyntsev V.V., Zadorozhnyy M.Y., Medvedeva E.V.* Promising Agromaterials Based on Biodegradable Polymers: Polylactide and Poly-3-Hydroxybutyrate // *Polymers*. 2023. V.15. P. 1029.

18. *Lim L-T., Auras R., Rubino M.* Processing technologies for poly(lactic acid) // *Progress in Polymer Science*. 2008. V. 33. P. 820...852.

19. *Arrieta M.P., Parres F., López J., Jiménez A.* Development of a novel pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry method for the analysis of poly(lactic acid) thermal degradation products // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2013. V. 101. P. 150...155.

20. *Li J., Zheng W., Li L., Zheng Y., Lou X.* Thermal degradation kinetics of g-HA/PLA composite // *Thermochimica Acta*. 2009. V. 493. P. 90...95.

21. *Podzorova M.V., Tertyshnaya Y.V.* Kinetic patterns for thermal oxidation of binary and ternary blends based on polylactide and polyethylene // *Russian Chemical Bulletin*. 2021. T. 70, № 9. P. 1791...1797.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 09.10.23.

УДК66.081.6

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_266

## ЦЕЛЛЮЛОЗА КАК МОДИФИЦИРУЮЩИЙ СЛОЙ НЕТКАНОГО ПОЛОТНА НА ОСНОВЕ ПЭТФ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ СРЕД\*

### CELLULOSE AS A MODIFYING LAYER OF PETF-BASED NON-WOVEN FABRIC FOR FILTRETION AQUEOUS ENVIRONMENTS

*Е.С. ДМИТРИЕВА, А.П. НЕБЕССКАЯ, Е.А. ГРУШЕВЕНКО, В.Я. МЕЛЕХИНА, А.В. ВЛАСОВА, Т.С. АНОХИНА, А.В. ВОЛКОВ*

*E.S. DMITRIEVA, A.P. NEBESSKAYA, E.A. GRUSHEVENKO, V.Ya. MELEKHINA, A.V. VLASOVA, T.S. ANOKHINA, A.V. VOLKOV*

(Институт нефтехимического синтеза РАН им. А.В. Топчиева)

(A.V.Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis RAS)

E-mail:tsanokhina@ips.ac.ru

***В современном мире большое влияние на состояние окружающей среды оказывают промышленные, в том числе и текстильные, предприятия. Большую антропогенную нагрузку при этом испытывают природные водоемы.***

\*Результаты получены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России. Проект 13.2251.21.0166 (идентификатор проекта RF-2251.61322X0044). Соглашение МНТС БРИКС 075-15-2022-1218.



В них попадают тысячи загрязнителей, оказывающих влияние на здоровье всего живого мира. В данной работе разработаны мембраны на основе нетканого полиэтилентерефталатного (ПЭТФ) полотна для очистки воды от одних из наиболее опасных растворенных компонентов – антибиотиков. В качестве модификатора ПЭТФ использовали целлюлозу, нанесенную из «зеленого» растворителя: смеси диметилоксида (ДМСО) и ионной жидкости. Большое влияние на фильтрационные свойства оказывает нерастворитель, используемый для осаждения модификатора. Максимальную селективность демонстрируют мембраны, осажденные в метаноле: 83, 68, 54% по Remazol Brilliant Blue R, Orange II и антибиотик-цефтриаксону соответственно.

*In the modern world, industrial enterprises, including textile enterprises, have a great impact on the environment. Natural water bodies are under great anthropogenic load. Thousands of pollutants are released into them affecting the health of the entire living world. In this work, membranes based on nonwoven polyethylene terephthalate (PET) fabric were developed to purify water from one of the most dangerous dissolved components. They are antibiotics. Cellulose applied from a "green" solvent: a mixture of dimethyloxide (DMSO) and ionic liquid was used as a modifier of PET. The filtration properties are greatly influenced by the non-solvent used to precipitate the modifier. The maximum selectivity is demonstrated by membranes precipitated in methanol: 83, 68, 54% for Remazol Brilliant Blue R, Orange II and antibiotic ceftriaxone, respectively.*

**Ключевые слова:** полиэтилентерефталат, фильтрующее полотно, нанофильтрация, антибиотики, модификация, инверсия фаз, осадитель, целлюлоза, ионные жидкости.

**Keywords:** polyethylene terephthalate, fabric filter, nanofiltration, antibiotics, modification, phase inversion, cellulose, ionic liquid.

В настоящее время промышленность в России и за рубежом развивается с повышенной активностью. Ускоренный темп развития, к сожалению, имеет не только положительный эффект для экономики стран и повышения их уровня жизни, но и оказывает негативное влияние на экологическое состояние окружающей среды. Например, при производстве текстильных изделий потребляется много воды, а также образуется значительное количество сточных вод при реализации каждого из технологических процессов (подготовка сырья, крашение, отделка и др.) [1]. На производство каждой тонны текстиля затрачивается 200-350 кубометров воды [2] в зависимости от типа ткани [3]. Это не может не сказываться на состоянии ближайших к предприятию природных водоемов [4]. Таким образом, актуальными являются вопросы очистки вод-

ных стоков от разнообразных растворенных компонентов [5].

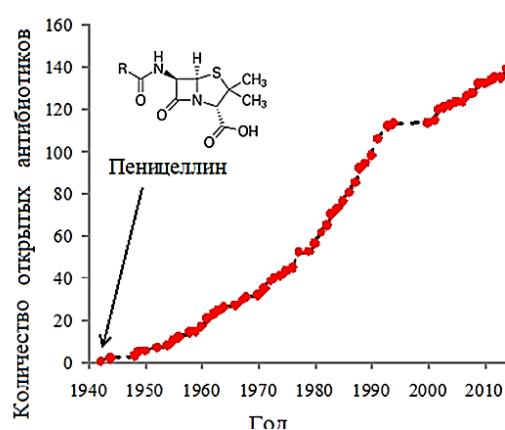


Рис. 1

Одним из наиболее опасных компонентов водных стоков промышленных предприятий являются антибиотики. Они были

открыты в конце XIX века [6]. В настоящее время ассортимент производимых антибиотиков существенно расширился (рис. 1). Объемы их производства увеличиваются с каждым годом. Все это приводит к их постоянному и непрерывному поступлению в природные водоемы.

Впервые присутствие антибиотиков в поверхностных водах обнаружено в 1970-х годах. Их концентрации были незначительны. В связи с этим их присутствие считалось неопасным. Однако использование антибиотиков расширилось по мере развития медицины, роста качества жизни из-за их применения в животноводстве и рыбноводстве (рис. 2). Это привело к большому накоплению антибиотиков в грунтовых и поверхностных водах [7, 8]. Главная опас-

ность накопления антибиотиков заключается в появлении резистентности у микроорганизмов [9].

Проблема загрязнения антибиотиками актуальна для всего мира. Это подтверждают исследования состояния окружающей среды в разных странах и регионах [10-12]. Обзор Rachna Singh [13] акцентирует свое внимание на мировом загрязнении рек и развитии устойчивости к антибиотикам, экологических последствиях массового и неконтролируемого использования антибиотиков. Риски для людей и экосистем подробно описываются в обзорах D.G. Joakim Larsson [14] и Jose Luis Martinez [15]. Авторы приходят к выводу об актуальности вопросов водоочистки.

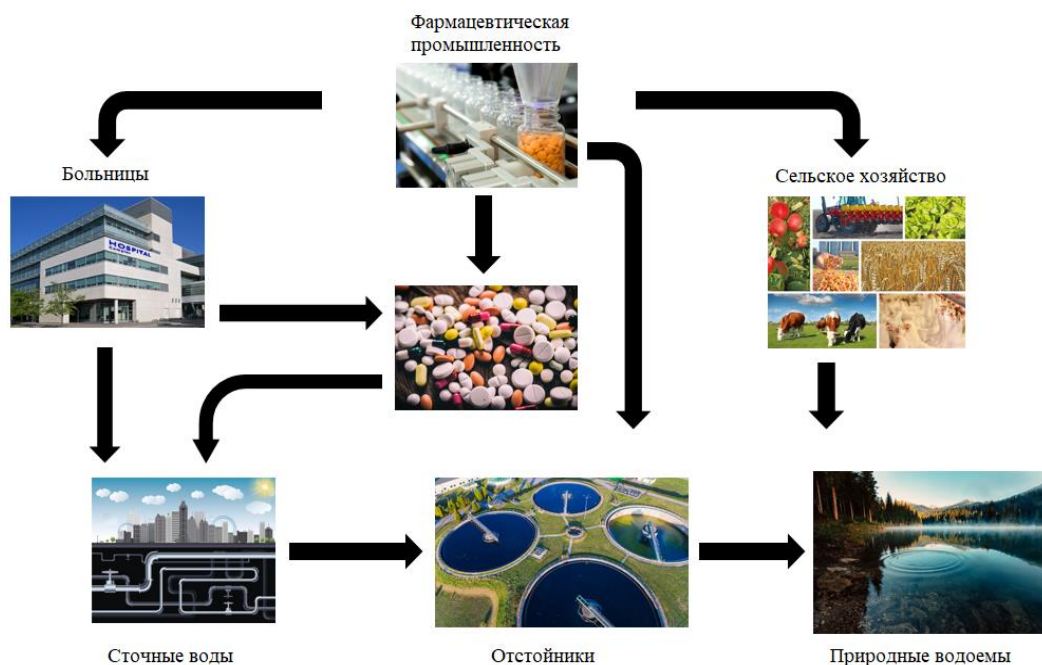


Рис. 2

Основными методами очистки сточных вод являются сорбция [16, 17], фотодegradация [18, 19], биодegradация [20-24], коагуляция-флокуляция [25, 26], ультразвуковое облучение [27], физическая очистка [28]. В последнее время большое внимание уделяют энергоэффективным и энергосберегающим технологиям [29]. В связи с этим на передний план выходят мембранные технологии [30]. Они не требуют реагентов, отличаются низкими энергетическими затратами, нечувствительны к условиям окружающей среды.

Материал для производства мембран должен обеспечивать высокую проницаемость, но задерживать растворенные в воде вещества. Кроме того, он должен быть устойчивым в фильтруемой среде и в идеальном случае недорогим. В связи с перечисленными требованиями обращают на себя внимание крупнотоннажные водонерастворимые полимеры, например полиэтилентерефталат (ПЭТФ) [31]. Важно, что его возможно изготавливать в виде нетканых полотен, что обеспечивает полимеру

высокую пористость и, как следствие, повышенную проницаемость [32].

Полиэтилентерефталат уже известен в процессах очистки воды [33-38] и газов [39, 40]. При изготовлении мембран ПЭТФ может использоваться в чистом и модифицированном виде [41, 42]. К модификациям ПЭТФ обычно прибегают для того, чтобы повысить его селективность в ультра- и нанофильтрационных процессах [43, 44].

В связи с ужесточением экологических требований сегодня большое внимание уделяют «зеленым» технологиям [45], а потому перспективными модификаторами ПЭТФ

могут стать природные полимеры, которые придут на смену традиционным органическим синтетическим модификаторам, например поли(N-изопропилакрил-амиду) [46] или акриловой кислоте [41]. Самым распространенным недорогим природным полимером является целлюлоза. Она уже хорошо зарекомендовала себя в мембранных разделительных процессах [47-51]. Для того чтобы проводить модификацию ПЭТФ с ее помощью, желательно целлюлозу растворить. Однако для целлюлозы есть лишь ограниченное число систем растворителей [52, 53] (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Количество компонентов в системе	Группа веществ	Примеры
Однокомпонентная	Галогениды N-алкилпиридиния	Хлорид N-этилпиридиния
	Оксиды третичных аминов	N-метилморфолин –N-оксид (NММО); Триэтиламин–N-оксид; N-метилпиперидин –N-оксид (NМПО)
Двухкомпонентная	Растворители, содержащие ДМСО	ДМСО/метиламин; ДМСО/KSCN; ДМСО/CaCl <sub>2</sub> ; ДМСО/TBAF
	Жидкий аммиак /соли натрия или аммония	NH <sub>3</sub> /NaI (NH <sub>4</sub> I); NH <sub>3</sub> /NaSCN (NH <sub>4</sub> SCN)
	Полярный апротонный растворитель / LiCl	N-диметилацетамид / LiCl; N-метилпирролидон / LiCl
	Системы, содержащие пиридин или хинолин	Пиридин / резорцин; Хинолина / Ca(SCN) <sub>2</sub>
Трехкомпонентная	NH <sub>3</sub> или амин / соль / полярный растворитель	NH <sub>3</sub> / NaCl / ДМСО
	NH <sub>3</sub> или амин / SO <sub>2</sub> или SOCl <sub>2</sub> / полярный растворитель	Диэтиламин / SO <sub>2</sub> / ДМСО

Многие из растворителей являются токсичными. В качестве безопасной альтернативы возможно использовать ионные жидкости прежде всего на основе имидазольных катионов с ацетат- или хлорид-анионами [54]. Впервые ионные жидкости использованы в качестве органических растворителей при изготовлении плоских и полволоконных мембран в 2010 году [55]. С тех пор установлено, что благоприятное воздействие на растворение целлюлозы оказывает добавление к ионным жидкостям соразтворителя, например ДМСО, ДМФА, СН<sub>3</sub>ОН [56]. В качестве метода формовки мембран подобным способом используется метод инверсии фаз [57]. Большое влияние на структуру образующихся мембран и, как следствие, на их фильтрационные свойства оказывают используемые для растворения

ионные жидкости и соразтворители, а также нерастворители в ваннах осаждения (рис. 3).

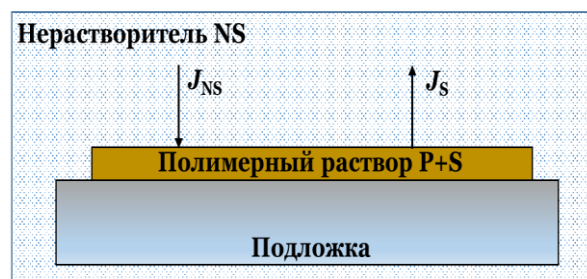


Рис. 3

Таким образом, целью данной работы становится модификация нетканого фильтрующего полотна ПЭТФ целлюлозой для повышения эффективности нанофильтрационной очистки сточных вод от антибиотиков.

## Методы

На первом этапе работы для определения транспортных свойств целлюлозных мембран использовали сплошные коммерческие целлофановые пленки толщиной 31 мкм (ГОСТ 7730-89), СП = 200.

Для создания целлюлозных мембран использовали промышленный образец целлюлозы Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (Россия) со степенью полимеризации 600, содержанием влаги не более 8% (в равновесных условиях), содержанием альфа-целлюлозы 92%. Целлюлоза наносилась на полиэтилентерефталатное нетканое полотно (Crane Technical Materials, США). Плотность нетканого полотна 87 г/м<sup>2</sup>, толщина 90–99 мкм, воздухопроницаемость 16,0–29,6 см<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>·с·кПа.

Для растворения целлюлозы использовали ионные жидкости: 1-этил-3-метилимидазолия ацетат ([Emim]Ac), 1-бутил-3-метилимидазолия ацетат. Подробные методики растворения целлюлозы и получения мембраны приведены в работах [58, 59].

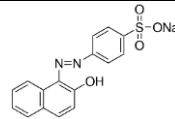
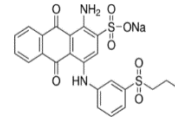
Основная проблема композиционных мембран, полученных из растворов целлюлозы в ионной жидкости, заключалась в отслаивании нанесенного слоя из-за плохой адгезии между подложечным материалом и слоем целлюлозы, а также из-за сильной усадки целлюлозы при сушке. Методика подготовки подложки ПЭТФ для ее модификации слоем целлюлозы представлена в работе [60].

Измерение сорбции ( $K_s$ , г/г) проводили путем замачивания образцов мембранных фильтров в растворителях с периодическим контролем их массы до момента ее стабилизации.

Исследование нанофильтрационных свойств мембранных фильтров проводилось в ячейках тупикового типа в соответствии с методикой, представленной ранее в других работах [61]. Проницаемость ( $P$ , кг·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>·атм<sup>-1</sup>) была определена весовым методом. Для определения задерживающей способности исследуемых мембран использовали промышленные красители (Sigma-Aldrich) различной молекулярной массы (табл. 2). Данные красители близки по своей молекулярной массе к большинству анти-

биотиков, что позволяет использовать их в качестве модельных веществ. Растворы красителей готовили весовым методом, концентрация красителей составляла 30 мг/л. Кроме того, использовали водные растворы антибиотика цефтриаксон (555 г/моль) производства ОАО "Синтез" (Россия).

Т а б л и ц а 2

Краситель	Тип	Молекулярная масса, г/моль	$\lambda$ , нм	Структурная формула
Orange II	Анионный	350	483	
Remazol Brilliant Blue R	Анионный	626	592	

Разделительные свойства ( $R$ , %) определены путем измерения оптической плотности растворов на спектрофотометре ПЭ 5400УФ (ПромЭкоЛаб). Характерные длины волн для измерения оптической плотности представлены в табл. 2. Формулы для расчета проницаемости и коэффициента задерживания в соответствии с [62].

Дифрактограммы получены с помощью рентгеновского источника с вращающимся медным анодом Rotaflex RU-200 (Rigaku, Япония), режим работы источника 50 кВ-160 мА. Источник был оснащен горизонтальным широкоугольным гониометром Rigaku D/Max-RC, сканирование производилось по схеме Брэгга-Брентано. В качестве детектора дифрагированного рентгеновского излучения выступал сцинтилляционный счетчик, падающее на него излучение монохроматизировалось с помощью вторичного (т.е. стоявшего на отраженном от образца пучке) фокусирующего монохроматора – изогнутого монокристалла графита. Длина волны монохроматизированного излучения составляла 1,542 ангстрем. Диапазон измерения углов дифракции – 5-35 градусов по шкале  $2\theta$ , измерение велось в режиме непрерывного сканирования со скоростью 1 град/мин и шагом 0,04 градуса. Образцы пленок закреплялись на алюми-

ево́й ра́мке, регистра́ция дифрактограмм велась в геометрии «на отражение» (англ. «reflection mode»).

#### Результаты и обсуждения

Чистое нетканое полотно из ПЭТФ обладает низкой селективностью в нанофильтрационных процессах из-за своей высокой пористости. Установлено, что коэффициенты задерживания для ПЭТФ составляют 14 и 5% по модельному красителю Remazol Brilliant Blue R и антибиотик цefтриаксону соответственно. Такая селективность является крайне низкой и не позволяет использовать ПЭТФ для очистки воды. В связи с этим необходимо прибегать к дополнительным стадиям для его модификации.

Для модификации ПЭТФ в данной работе выбрана целлюлоза. С целью оценки эффективности применения данного модификатора изучены транспортные и разделительные свойства сплошных пленок на основе промышленно производимого целлофана (табл. 3).

Предварительные эксперименты проводились с использованием модельных веществ, красителей, близких по своей молекулярной массе к антибиотикам. Выявлено, что пленки из целлофана обладают почти

100% селективностью по веществам с молекулярными массами 350 и 626 г/моль (табл. 3). Это доказывает перспективность использования целлюлозы в качестве модификатора ПЭТФ мембран.

Таблица 3

Фильтруемый растворитель	$S$ , %	$P$ , кг/м <sup>2</sup> ·ч·атм	$R_{Orange}$ , % (350 г/моль)	$R_{Remazol}$ , % (626 г/моль)
Вода	78	0,11	97	100

Примечание.  $S$  – сорбция,  $P$  – проницаемость,  $R$  – коэффициент задерживания.

С использованием ламинатора HLCL-1000 изготовлены композиционные ПЭТФ мембраны, представляющие собой двухслойную систему.

Большое влияние на фильтрационные свойства мембран оказывает концентрация полимера в формовочном растворе. В связи с этим исследованы две концентрации целлюлозы 10 и 14 мас. % для модификации подложек ПЭТФ. Транспортные и разделительные свойства модифицированных целлюлозой подложек ПЭТФ относительно модельных красителей и антибиотиков представлены в табл. 4.

Таблица 4

С целлюлозы, % масс.	$P_{H_2O+Remazol}$	$R_{Remazol}$	$P_{H_2O+Orange II}$	$R_{Orange II}$	$P_{цто}$	$R_{цто}$
10	0,5	75	0,5	38	0,307	39
14	0,3	81	0,3	50	0,275	51,3

Примечание.  $P$  – проницаемость, кг/м<sup>2</sup>·ч·атм;  $R$  – коэффициент задерживания, %.

В табл. 4 показано, что увеличение концентрации целлюлозы от 10 до 14% приводит к снижению проницаемости по всем исследуемым растворам, но к одновременному повышению коэффициентов задерживания на 10-30% в зависимости от растворенного вещества. В связи с этим концентрация модификатора, равная 14%, выбрана как наиболее предпочтительная.

В фильтрационных свойствах модифицированных подложек ПЭТФ ключевую роль играет нерастворитель при осаждении модификатора – целлюлозы – на поверхности нетканого ПЭТФ полотна.

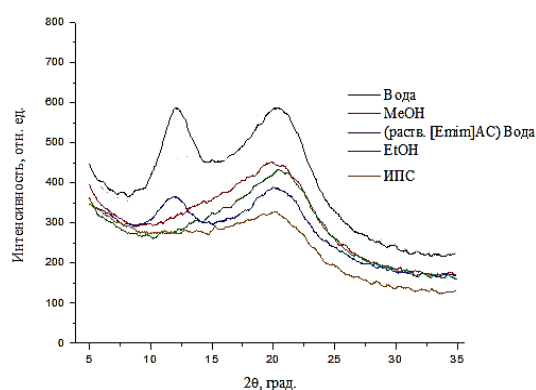


Рис. 4

Дифрактограммы целлюлозного слоя, осажденного в воде, имеют два пика, что



свидетельствует о наличии кристаллических структур (рис. 4). Для сравнения также исследованы мембраны, полученные из растворов целлюлозы в чистой [Emim]Ac и осажденные в воде.

Осаждение в спиртах приводит к образованию аморфного слоя модификатора. Можно предположить, что мембраны, осажденные в воде, будут иметь меньшую проницаемость из-за более плотной структуры. Однако противоположное влияние оказывают эффекты сорбции (табл. 5).

Таблица 5

Нерастворитель	Вода	Метанол	Этанол	Изопропанол
S целлюлозы, %	126,0	19,0	14,5	2,5

Оказалось, что целлюлоза больше всего набухает в воде (126%), в то время как наименьшую степень набухания целлюлоза имеет в изопропанол (2,5%). Вода, взаимодействуя с целлюлозой, образует водородные связи с одним или несколькими блоками ангидрогликозы, что приводит к сильному набуханию полисахарида [61, 62].

Описанные явления приводят к неоднозначности воздействия нерастворителя в осаждающей ванне на фильтрационные свойства мембран. К тому же на фильтрационные свойства оказывает влияние взаимодействие модифицированного ПЭТФ полотна с растворенными компонентами. В связи с этим установить единую закономерность изменения проницаемости мембран от осаждающего нерастворителя не представляется возможным (рис. 5).

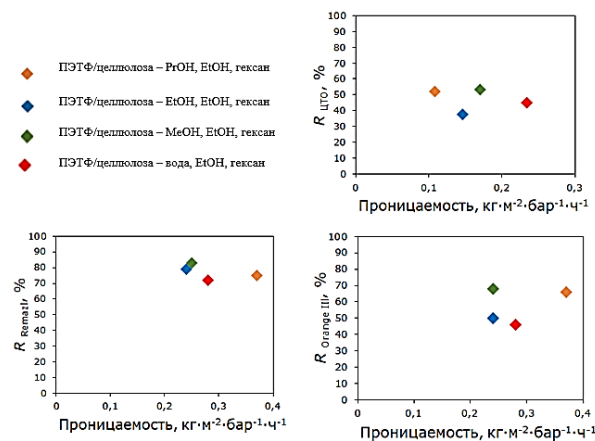


Рис. 5

При фильтрации водных растворов красителей Remazol Brilliant Blue R и Orange II проницаемость мембран уменьшалась в ряду осадителей пропанол – вода – метанол – этанол. Для водного раствора антибиотика порядок изменился. Так, в этом случае наибольшей проницаемостью обладали мембраны, осажденные в воде, а наименьшей – в пропанол. При этом для всех фильтрационных испытаний характерно, что наибольшей селективностью обладала мембрана ПЭТФ/целлюлоза – метанол – этанол – гексан. Она продемонстрировала коэффициенты задерживания по Remazol Brilliant Blue R, Orange II и цефтриаксону 83, 68, 54% соответственно.

Также проведено сравнение показателей выделения красителей и антибиотика из воды на мембранах, разработанных в работе, с литературными данными и другими традиционными методами (табл. 6).

Таблица 6

Метод/мембрана	Вещество	ММ	R, %	Вещество	ММ	R, %	Источник
Мембранная фильтрация							
ПЭТФ/целлюлоза (14%) – вода, этанол, гексан	Orange II	350	46	Цефтриаксон	555	45	н.р.
ПЭТФ/целлюлоза (14%) – метанол, этанол, гексан	Orange II	350	68	Цефтриаксон	555	53	н.р.
ПЭТФ/целлюлоза (14%) – этанол, этанол, гексан	Orange II	350	50	Цефтриаксон	555	38	н.р.

ПЭТФ/целлюлоза (14%) – ИПС, этанол, гексан	Orange II	350	66	Цефтриаксон	555	52	н.р.
UF	Норфлоксацин	319	6-34	Окситетрациклин	460	41-52	[64]
PEI 30	Сахара	350	48	Сахара	200	32	[65]
PEI 120			60			35	
NF 270	Сульфаметоксазол	253	17	Триметоприм	290	67	[66]
NL	Сульфаметоксазол	250	22	Триметоприм	290	63	
Традиционные методы							
Химический метод коагуляции (FeCl <sub>3</sub> )	Сульфаметоксазол	253	6	Эритромицин	733	27-51	[67]
Адсорбция активированным углем	Ципрофлоксацин	331	50	Триметоприм	290	2-62	
Биологический метод (активный ил)	Ципрофлоксацин	331	51	Норфлоксацин	319	47	

Из таблицы видно, что показатели фильтрации воды с использованием модифицированного целлюлозой ПЭТФ полотна сопоставимы с показателями, полученными с использованием других мембран, описанных в литературе, а также традиционных методов удаления загрязнителей из воды: химический метод коагуляции (FeCl<sub>3</sub>), адсорбция активированным углем, биологический метод (активный ил) (табл. 6) [63-66].

## ВЫВОДЫ

Разработаны наночистотные ПЭТФ мембраны путем их модификации целлюлозой. К сожалению, в чистом виде ПЭТФ обладали низкими селективностями по красителям и антибиотику. Полученные мембраны ПЭТФ/целлюлоза продемонстрировали высокую перспективность в наночистотных процессах. Эффективность удаления красителей и антибиотиков из воды составила до 83 и 53% соответственно. При этом большое влияние на фильтративные свойства оказывает нерастворитель, используемый для осаждения модификатора. Максимальную селективность демонстрируют мембраны, осажденные в метаноле: 83, 68, 54% по Remazol Brilliant Blue R, Orange II и цефтриаксону соответственно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атаманова О.В. и др. Совершенствование методов очистки сточных вод текстильных предприятий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022, 1, С. 83.
2. Абрамов О.В. и др. Очистка сточных вод текстильных предприятий гальванохимическим методом с использованием ультразвукового поля // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. №3. С. 316.
3. Евлантьев С.С., Войтюк А.А., Сахарова Н.А. Исследование методов очистки сточных вод текстильного производства от красителей // Научный потенциал регионов на службу модернизации. АИСИ. 2012, 2. С. 3.
4. Гуторова Н.В., Седяров О.И. Алгоритм расчета интегрального показателя степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. №2. С. 184...188.
5. Карманов А.П., Полина И.Н. Технология очистки сточных вод. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 212 с.
6. Бугаевский К.А. Открытие и производство антибиотиков и их создатели, в отражении средств коллекционирования // Актуальные научные исследования в современном мире. 2018, 1-8, С. 53...59.
7. Sokolov A., Kråkström M., Eklund P., Kronberg L., Louhi-Kultanen M. Abatement of amoxicillin and doxycycline in binary and ternary aqueous solutions by gas-phase pulsed corona discharge oxidation // Chemical Engineering Journal. 2018, 334. P. 673...681.
8. Palacio D.A., Becerra Y., Urbano B.F., Rivas B.L. Antibiotics removal using a chitosan-based polyelectrolyte in conjunction with ultrafiltration membranes // Chemosphere. 2020, 258. P. 127416.



9. Панин А.Н. и др. Проблема резистентности к антибиотикам возбудителей болезней, общих для человека и животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2017, 5, С. 18...24.
10. Anh H.Q., Le T.P.Q., Da Le N., Lu X.X., Duong T.T., Garnier J., Nguyen T.A.H. Antibiotics in surface water of East and Southeast Asian countries: A focused review on contamination status, pollution sources, potential risks, and future perspectives // Science of The Total Environment. 2021, 764, P. 142865.
11. Liu X., Lu S., Guo W., Xi B., Wang W. Antibiotics in the aquatic environments: a review of lakes, China // Science of the Total Environment. 2018, 627, P. 1195...1208.
12. Ana K.M.S., Madriaga J., Espino M.P.  $\beta$ -Lactam antibiotics and antibiotic resistance in Asian lakes and rivers: An overview of contamination, sources and detection methods // Environmental Pollution. 2021, 275, P. 116624.
13. Singh R., Singh A.P., Kumar S., Giri B.S., Kim K.H. Antibiotic resistance in major rivers in the world: a systematic review on occurrence, emergence, and management strategies // Journal of Cleaner Production. 2019, 234, P. 1484...1505
14. Larsson D. J. Antibiotics in the environment // Upsala journal of medical sciences. 2014, 119(2), P. 108...112
15. Martinez J.L. Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants // Environmental pollution. 2009, 157(11), P. 2893...2902.
16. Sulbarán Rangel B.C. et al. Nanomaterial-escelulósicos para la adsorción de contaminante-semergentes // Tecnura. 2019, 23 (62), P. 13...20.
17. Meneau-Hernández R.I. et al. Adsorción de ciprofloxacina en materiales zeolíticos // Revista Cubana de Química. 2021, 33 (1), P. 167...190.
18. Gothwal R., Shashidhar T. Antibiotic pollution in the environment: a review // Clean-Soil, Air, Water. 2015, 43(4), P. 479...489
19. Di J. et al. Novel visible-light-driven CQDs/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> hybrid materials with enhanced photocatalytic activity toward organic pollutants degradation and mechanism insight // Applied Catalysis B: Environmental. 2015, 168, P. 51...61.
20. Huang B. et al. Treatment of pharmaceutical wastewater containing  $\beta$ -lactams antibiotics by a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) // Chemical Engineering Journal. 2018, 341, P. 238...247.
21. Prado N., Ochoa J., Amrane A. Biodegradation by activated sludge and toxicity of tetracycline into a semi-industrial membrane bioreactor // Bioresource technology. 2009, 100 (15), P. 3769...3774.
22. Li B., Zhang T. Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process // Environmental science & technology. 2010, 44 (9), P. 3468...3473.
23. Joss A. et al. Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment // Water research. 2005, 39 (14), P. 3139...3152.
24. Yang S.F. et al. Sorption and biodegradation of sulfonamide antibiotics by activated sludge: experimental assessment using batch data obtained under aerobic conditions // Water research. 2011, 45 (11), P. 3389...3397.
25. Suarez S., Lema J.M., Omil F. Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation and flotation // Bioresource technology. 2009, 100 (7), P. 2138...2146.
26. Choi K.J., Kim S.G., Kim S.H. Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration // Journal of hazardous materials. 2008, 151 (1), P. 38...43.
27. Naddeo V. et al. Fate of pharmaceuticals in contaminated urban wastewater effluent under ultrasonic irradiation // Water research. 2009, 43 (16), P. 4019...4027.
28. Абдуова А.А. и др. Анализ современного состояния вопроса исследования промышленного применения напорных гидроциклонов в области очистки сточных вод легкой промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №3. С. 227...231.
29. Алоян Р.М. и др. Возможности и проблемы энергоэффективных и энергосберегающих технологий в строительстве и текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №5. С. 196...198.
30. Осадчий Ю.П., Блиничев В.Н. Баромембранная очистка сточных вод, содержащих пигменты и кислотные красители // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2007, №5(301). P. 64...66.
31. Kamrani H., Nosrati A. Fabrication of nanofiber filtration membranes using polyethylene terephthalate (PET): A review // J. Membr. Sci. Technol. 2018, 8, P. 1000183.
32. Керницкий В.И., Жур Н.А. Отходы полиэтилентерефталата (ПЭТ) и перспективные направления их переработки // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2015. С. 47.
33. Xiang J. et al. Study on Low Thermal-Conductivity of PVDF@ SiAG/PET Membranes for Direct Contact Membrane Distillation Application // Membranes. 2023, 13 (9), P. 773.
34. Zander N.E., Gillan M., Sweetser D. Recycled PET nanofibers for water filtration applications // Materials. 2016, 9 (4), P. 247.
35. Fahimirad S., Fahimirad Z., Sillanpää M. Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers // Science of the Total Environment. 2021, 751, P. 141673.
36. Korolkov I.V. et al. Preparation of hydrophobic PET track-etched membranes for separation of oil-water emulsion // Membranes. 2021, 11 (8), P. 637.
37. Xiong Q. et al. Waste PET derived Janus fibrous membrane for efficient oil/water emulsions separation // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022, 10 (5), P. 108459.

38. *Chen H. et al.* Waste to treasure: A superwetting fiber membrane from waste PET plastic for water-in-oil emulsion separation // *Journal of Cleaner Production*. 2023, 396, P. 136502.
39. *Bonfim D.P.F. et al.* A sustainable recycling alternative: Electrospun PET-membranes for air nanofiltration // *Polymers*. 2021, 13 (7), P. 1166.
40. *Lyu C. et al.* Electrospinning of nanofibrous membrane and its applications in air filtration: A review // *Nanomaterials*. – 2021, 11 (6), P. 1501.
41. *Korolkov I.V. et al.* Protein fouling of modified microporous PET track-etched membranes // *Radiation Physics and Chemistry*. 2018, 151, P. 141...148.
42. *Khashij M. et al.* Recycled PET/metal oxides nanocomposite membrane for treatment of real industrial effluents: Membrane fabrication, stability, antifouling behavior, and process modeling and optimization // *Journal of Molecular Liquids*. 2022, 364, P. 119966.
43. *Khorram M., Mousavi A., Mehranbod N.* Chromium removal using adsorptive membranes composed of electrospun plasma-treated functionalized polyethylene terephthalate (PET) with chitosan // *Journal of environmental chemical engineering*. 2017, 5 (3), P. 2366...2377.
44. *Ali B.T.I. et al.* Utilization of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste as membrane with several modifications for the removal of chromium ions in wastewater // *Materials Today: Proceedings*. 2023, 74, P. 433...437.
45. *Anokhina T.S. et al.* Cellulose composite membranes for nanofiltration of aprotic solvents // *Petroleum Chemistry*. 2016, 56, P. 1085...1092.
46. *Ehrenhofer A., Wallmersperger T.* Deformation Behavior of Hydrogel-layered PET Membranes // *DEMEASS VIII*. P. 14.
47. *Huang R.Y.M.* Separation of liquid mixtures by using polymer membranes. II. Permeation of aqueous alcohol solutions through cellophane and poly(vinyl alcohol) // *Journal of Applied Polymer Science*. 1970, 14(9), P. 2341...2356.
48. *Nagy E., Borlai O., Ujhidy A.* Membrane permeation of water-alcohol binary mixtures // *Journal of Membrane Science*. 1980, 7(1), P. 109...118.
49. *Ghosh I.* Pervaporation of methanol-ethylene glycol with cellophane membrane: some mechanistic aspects // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1988, 27(10), P. 1895...1900.
50. *Teplyakov V.V., Shalygin M.G., Kozlova A.A. et al.* Membrane technology in bioconversion of lignocellulose to motor fuel components // *Petroleum Chemistry*. 2017, 57(9), P. 747...762.
51. *Loftsson T., Måsson M., Sigurdsson H.H.* Cyclodextrins and drug permeability through semi-permeable cellophane membranes // *International Journal of Pharmaceutics*. 2002, 232(1-2), P. 35...43.
52. *Burger J., Kettenbach G., Klüfers P.* Coordination equilibria in transition metal based cellulose solvents // *Macromol. Symp.* 1995, 99, P. 113...126.
53. *Heinze Th., Liebert T.* Organic solvents and sophisticated derivatives of cellulose-promising tools in cellulose chemistry // *Cellul. Chem. Technol.* 1998, 32, P. 3...18.
54. *Swatloski R.P., Spear S.K., Holbrey J.D., Rogers R.D.* Dissolution of Cellulose with Ionic Liquids // *Journal of the American Chemical Society*. 2002, 124(18), P. 4974...4975.
55. *Xing D.Y., Peng N., Chung T.S.* Formation of cellulose acetate membranes via phase inversion using ionic liquid [BMIM]SCN, as the solvent // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010, 49(18), P. 8761...8769
56. *Zhao Y.L., Liu X.M., Wang J.J., Zhang S.J.* Insight into the cosolvent effect of cellulose dissolution in imidazolium-based ionic liquid systems // *J. Phys. Chem. B*. 2013, 117, P. 9042...9049.
57. *Xing D.Y., Peng N., Chung T.S.* Investigation of unique interactions between cellulose acetate and ionic liquid [EMIM]SCN, and their influences on hollow fiber ultrafiltration membranes // *Journal of Membrane Science*. 2011, 380(1), P. 87... 97.
58. *Anokhina T.S., Pleshivtseva T.S., Ignatenko V.Ya., Antonov S.V., Volkov A.V.* Fabrication of Composite Nanofiltration Membranes from Cellulose Solutions in an [Emim]OAc–DMSO Mixture // *Petroleum Chemistry*. 2017, 57(6), P. 477...482.
59. *Anokhina T.S., Ignatenko V.Y., Kostyuk A.V., Ilyin S.O., Volkov A.V., Antonov S.V.* Effect of coagulant nature on nanofiltration properties of cellulose membranes formed from solutions in ionic liquid // *Membranes and Membrane Technologies*. 2020, 2(3), P. 149...158.
60. *Anokhina T., Ignatenko V., Ilyin S., Antonov S., Volkov A.* Fabrication of cellulose-based composite membranes for organic solvent nanofiltration // *Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. 2018, 1099, P. 012039.
61. *Fidale L.C., Ruiz N., Heinze T., Seoud O.A.E.* Cellulose Swelling by Aprotic and Protic Solvents: What are the Similarities and Differences // *Macromol. Chem. Phys.* 2008, 209, P.1240...1254.
62. *Mantanis G.I., Young R.A., Rowell R.M.* Swelling of compressed cellulose fiber webs in organic liquids // *Cellulose*. 1995, 2(1), P. 1...22.
63. *Akhil D., Lakshmi D., Senthil Kumar P., Vo D.V.N., Kartik A.* Occurrence and removal of antibiotics from industrial wastewater // *Environmental chemistry letters*. 2021, 19, P. 1477...1507.
64. *Zhao S., Yao Y., Ba C., Zheng W., Economy J., Wang P.* Enhancing the performance of polyethylenimine modified nanofiltration membrane by coating a layer of sulfonated poly (ether ether ketone) for removing sulfamerazine // *Journal of Membrane Science*. 2015, 492, P. 620...629.
65. *Dolar D., Vuković A., Ašperger D., Košutić K.* Efficiency of RO/NF membranes at the removal of veterinary antibiotics // *Water Science and Technology*. 2012, 65 (2), P. 317...323.
66. *de Ilurdoz M.S., Sadhwani J.J., Reboso J.V.* Antibiotic removal processes from water & wastewater for the protection of the aquatic environment-a review // *Journal of water process engineering*. 2022, 45, P. 102474.

## REFERENCES

1. *Atamanova O.V. i dr.* Sovershenstvovanie metodov ochistki stochnyh vod tekstil'nyh pred-priyatij // *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2022, 1, P. 83.
2. *Abramov O.V. i dr.* Ochistka stochnyh vod tekstil'nyh predpriyatij gal'vanohimicheskimi metodami s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo polya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2009, 3, P. 316.
3. *Evlant'ev S.S., Vojtyuk A.A., Saharova N.A.* Issledovanie metodov ochistki stochnyh vod tekstil'nogo proizvodstva ot krasitelej // *Nauchnyj potencial regionov na sluzhbu modernizacii*. AISI. 2012, 2, P. 3.
4. *Gutorova N.V., Sedlyarov O.I.* Algorithm for calculating of the integral indicator adverse impact of the industrial waste-water on water bodies // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2020, 2, P. 184...188.
5. *Karmanov A.P., Polina I.N.* Tekhnologiya ochistki stochnyh vod. Moscow: Infra-Engineering, 2018.
6. *Bugaevskij K.A.* Otkrytie i proizvodstvo antibiotikov i ih sozdateli, v otrazhenii sredstv kollekcii irovaniya // *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2018, 1-8, P. 53...59.
7. *Sokolov A., Kråkström M., Eklund P., etc.* Abatement of amoxicillin and doxycycline in binary and ternary aqueous solutions by gas-phase pulsed corona discharge oxidation // *Chemical Engineering Journal*. 2018, 334, P. 673...681.
8. *Palacio D.A., Becerra Y., Urbano B.F., Rivas B.L.* Antibiotics removal using a chitosan-based polyelectrolyte in conjunction with ultrafiltration membranes // *Chemosphere*. 2020, 258, P. 127416.
9. *Panin A.N. etc.* Problema rezistentnosti k antibiotikam vzbuditelej boleznej, obshchih dlya cheloveka i zhivotnyh // *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2017, 5, S. 18...24.
10. *Anh H.Q., Le T.P.Q., Da Le N., etc.* Antibiotics in surface water of East and Southeast Asian countries: A focused review on contamination status, pollution sources, potential risks, and future perspectives // *Science of The Total Environment*. 2021, 764, P. 142865.
11. *Liu X., Lu S., Guo W., Xi B., Wang W.* Antibiotics in the aquatic environments: a review of lakes, China // *Science of the Total Environment*. 2018, 627, P. 1195...1208.
12. *Ana K.M.S., Madriaga J., Espino M.P.*  $\beta$ -Lactam antibiotics and antibiotic resistance in Asian lakes and rivers: An overview of contamination, sources and detection methods // *Environmental Pollution*. 2021, 275, P. 116624.
13. *Singh R., Singh A.P., Kumar S., Giri B.S., Kim K.H.* Antibiotic resistance in major rivers in the world: a systematic review on occurrence, emergence, and management strategies // *Journal of Cleaner Production*. 2019, 234, P. 1484...1505.
14. *Larsson D.J.* Antibiotics in the environment // *Upsala journal of medical sciences*. 2014, 119(2), P. 108...112.
15. *Martinez, J.L.* Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants // *Environmental pollution*. 2009, 157(11), P. 2893..2902.
16. *Sulbarán Rangel B.C. et al.* Nanomaterial-escelulósicos para la adsorción de contaminantes-emergentes // *Tecnura*. 2019, 23 (62), P. 13...20.
17. *Meneau-Hernández R.I. et al.* Adsorción de ciprofloxacina en materiales zeolíticos // *Revista Cubana de Química*. 2021, 33 (1), P. 167...190.
18. *Gothwal R., Shashidhar T.* Antibiotic pollution in the environment: a review // *Clean-Soil, Air, Water*. 2015, 43(4), P. 479..489
19. *Di J. et al.* Novel visible-light-driven CQDs/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> hybrid materials with enhanced photocatalytic activity toward organic pollutants degradation and mechanism insight // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015, 168, P. 51...61.
20. *Huang B. et al.* Treatment of pharmaceutical wastewater containing  $\beta$ -lactams antibiotics by a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) // *Chemical Engineering Journal*. 2018, 341, P. 238...247.
21. *Prado N., Ochoa J., Amrane A.* Biodegradation by activated sludge and toxicity of tetracycline into a semi-industrial membrane bioreactor // *Bioresource technology*. 2009, 100 (15), P. 3769...3774.
22. *Li B., Zhang T.* Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process // *Environmental science & technology*. 2010, 44 (9), P. 3468...3473.
23. *Joss A. et al.* Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment // *Water research*. 2005, 39 (14), P. 3139...3152.
24. *Yang S. F. et al.* Sorption and biodegradation of sulfonamide antibiotics by activated sludge: experimental assessment using batch data obtained under aerobic conditions // *Water research*. 2011, 45 (11), P. 3389...3397.
25. *Suarez S., Lema J.M., Omil F.* Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation and flotation // *Bioresource technology*. 2009, 100 (7), P. 2138...2146.
26. *Choi K.J., Kim S.G., Kim S.H.* Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration // *Journal of hazardous materials*. 2008, 151 (1), P. 38...43.
27. *Naddeo V. et al.* Fate of pharmaceuticals in contaminated urban wastewater effluent under ultrasonic irradiation // *Water research*. 2009, 43 (16), P. 4019...4027.
28. *Abduova A.A. et al.* Analysis of current state of research questions pressure hydrocyclones industrial applications in wastewater treatment of light industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2016, 3, P. 227...231.
29. *Aloyan R.M. et al.* Opportunities and challenges of energy efficient and energy saving technologies in the construction and textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2017, 5, S. 196...198.

30. *Osadchij YU.P., Blinichev V.N.* Baromembran-naya ochistka stochnyh vod, soderzhashchih pigmenty i kislotnye krasiteli // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti.* 2007, 5(301), P. 64...66.
31. *Kamrani H., Nosrati A.* Fabrication of nanofiber filtration membranes using polyethylene terephthalate (PET): A review // *J. Membr. Sci. Technol.* 2018, 8, P. 1000183.
32. *Kernickij V.I., ZHir N.A.* Othody polietilen-terefalata (PET) i perspektivnye napravleniya ih pererabotki // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2015, P. 47.
33. *Xiang J. et al.* Study on Low Thermal-Conductivity of PVDF@ SiAG/PET Membranes for Direct Contact Membrane Distillation Application // *Membranes.* 2023, 13 (9), P. 773.
34. *Zander N.E., Gillan M., Sweetser D.* Recycled PET nanofibers for water filtration applications // *Materials.* 2016, 9 (4), P. 247.
35. *Fahimirad S., Fahimirad Z., Sillanpää M.* Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers // *Science of the Total Environment.* 2021, 751, P. 141673.
36. *Korolkov I.V. et al.* Preparation of hydrophobic PET track-etched membranes for separation of oil-water emulsion // *Membranes.* 2021, 11 (8), P. 637.
37. *Xiong Q. et al.* Waste PET derived Janus fibrous membrane for efficient oil/water emulsions separation // *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2022, 10 (5), P. 108459.
38. *Chen H. et al.* Waste to treasure: A superwetting fiber membrane from waste PET plastic for water-in-oil emulsion separation // *Journal of Cleaner Production.* 2023, 396, P. 136502.
39. *Bonfim D.P.F. et al.* A sustainable recycling alternative: Electrospun PET-membranes for air nanofiltration // *Polymers.* 2021, 13 (7), P. 1166.
40. *Lyu C. et al.* Electrospinning of nanofibrous membrane and its applications in air filtration: A review // *Nanomaterials.* 2021, 11 (6), P. 1501.
41. *Korolkov I.V. et al.* Protein fouling of modified microporous PET track-etched membranes // *Radiation Physics and Chemistry.* 2018, 151, P. 141...148.
42. *Khashij M. et al.* Recycled PET/metal oxides nanocomposite membrane for treatment of real industrial effluents: Membrane fabrication, stability, antifouling behavior, and process modeling and optimization // *Journal of Molecular Liquids.* 2022, 364, P. 119966.
43. *Khorram M., Mousavi A., Mehranbod N.* Chromium removal using adsorptive membranes composed of electrospun plasma-treated functionalized polyethylene terephthalate (PET) with chitosan // *Journal of environmental chemical engineering.* 2017, 5 (3), P. 2366...2377.
44. *Ali B.T.I. et al.* Utilization of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste as membrane with several modifications for the removal of chromium ions in wastewater // *Materials Today: Proceedings.* 2023, 74, P. 433...437.
45. *Anokhina T.S. et al.* Cellulose composite membranes for nanofiltration of aprotic solvents // *Petroleum Chemistry.* 2016, 56, P. 1085...1092.
46. *Ehrenhofer A., Wallmersperger T.* Deformation Behavior of Hydrogel-layered PET Membranes // *DEMEASS VIII.* P. 14.
47. *Huang R.Y.M.* Separation of liquid mixtures by using polymer membranes. II. Permeation of aqueous alcohol solutions through cellophane and poly(vinyl alcohol) // *Journal of Applied Polymer Science.* 1970, 14(9), P. 2341...2356.
48. *Nagy E., Borlai O., Ujhidy A.* Membrane permeation of water-alcohol binary mixtures // *Journal of Membrane Science.* 1980, 7(1), P. 109...118.
49. *Ghosh I.* Pervaporation of methanol-ethylene glycol with cellophane membrane: some mechanistic aspects // *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 1988, 27(10), P. 1895...1900.
50. *Tepliyakov V.V., Shalygin M.G., Kozlova A.A. et al.* Membrane technology in bioconversion of lignocellulose to motor fuel components // *Petroleum Chemistry.* 2017, 57(9), P. 747...762.
51. *Lofsson T., Måsson M., Sigurdsson H.H.* Cyclodextrins and drug permeability through semi-permeable cellophane membranes // *International Journal of Pharmaceutics.* 2002, 232(1-2), P. 35...43.
52. *Burger J., Kettenbach G., Klüfers P.* Coordination equilibria in transition metal based cellulose solvents // *Macromol. Symp.* 1995, 99, P. 113...126.
53. *Heinze Th., Liebert T.* Organic solvents and sophisticated derivatives of cellulose-promising tools in cellulose chemistry // *Cellul. Chem. Technol.* 1998, 32, P. 3...18.
54. *Swatloski R.P., Spear S.K., Holbrey J.D., Rogers R.D.* Dissolution of Cellulose with Ionic Liquids // *Journal of the American Chemical Society.* 2002, 124(18), P. 4974...4975.
55. *Xing D.Y., Peng N., Chung T.S.* Formation of cellulose acetate membranes via phase inversion using ionic liquid [BMIM]SCN, as the solvent // *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 2010, 49(18), P. 8761...8769.
56. *Zhao Y.L., Liu X.M., Wang J.J., Zhang S.J.* Insight into the cosolvent effect of cellulose dissolution in imidazolium-based ionic liquid systems // *J. Phys. Chem. B.* 2013, 117, P. 9042...9049.
57. *Xing D. Y., Peng N., Chung T.S.* Investigation of unique interactions between cellulose acetate and ionic liquid [EMIM]SCN, and their influences on hollow fiber ultrafiltration membranes // *Journal of Membrane Science.* 2011, 380(1), P. 87... 97.
58. *Anokhina T.S., Pleshivtseva T.S., Ignatenko V.Ya., et al.* Fabrication of Composite Nanofiltration Membranes from Cellulose Solutions in an [Emim]OAc-DMSO Mixture // *Petroleum Chemistry.* 2017, 57(6), P. 477...482.
59. *Anokhina T.S., Ignatenko V.Y., Kostyuk A.V., et al.* Effect of coagulant nature on nanofiltration properties of cellulose membranes formed from solutions in

ionic liquid // Membranes and Membrane Technologies. 2020, 2(3), P. 149...158.

60. *Anokhina T., Ignatenko V., Ilyin S., Antonov S., Volkov A.* Fabrication of cellulose-based composite membranes for organic solvent nanofiltration // Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018, 1099, P. 012039.

61. *Fidale L.C., Ruiz N., Heinze T., Seoud O.A.E.* Cellulose Swelling by Aprotic and Protic Solvents: What are the Similarities and Differences // Macromol. Chem. Phys. 2008, 209, P. 1240...1254.

62. *Mantanis G.I., Young R.A., Rowell R.M.* Swelling of compressed cellulose fiber webs in organic liquids // Cellulose. 1995, 2(1), P. 1...22.

63. *Akhil D., Lakshmi D., Senthil Kumar P., Vo D.V.N., Kartik A.* Occurrence and removal of antibiotics from industrial wastewater // Environmental chemistry letters. 2021, 19, P. 1477...1507.

64. *Zhao S., Yao Y., Ba C., Zheng W., Economy J., Wang P.* Enhancing the performance of polyethyleneimine modified nanofiltration membrane by coating a layer of sulfonated poly (ether ether ketone) for removing sulfamerazine // Journal of Membrane Science. 2015, 492, P. 620...629.

65. *Dolar D., Vuković A., Ašperger D., Košutić K.* Efficiency of RO/NF membranes at the removal of veterinary antibiotics // Water Science and Technology. 2012, 65 (2), P. 317...323.

66. *de Ilurdoz M.S., Sadhwani J.J., Reboso J.V.* Antibiotic removal processes from water & wastewater for the protection of the aquatic environment-a review // Journal of water process engineering. 2022, 45, P. 102474.

Рекомендована лабораторией №18 полимерных мембран Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН. Поступила 04.12.2023.

УДК336.15

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_279

**УПРАВЛЕНИЕ КРАУДФАНДИНГОМ ПО ИСЛАМСКИМ ПРИНЦИПАМ**  
**CROWDFUNDING MANAGEMENT ACCORDING TO ISLAMIC PRINCIPLES**

*Ф.И. ХАРИСОВА<sup>1</sup>, Г.Г. ДЕРЗАЕВА<sup>1</sup>, А.К. ДАШИН<sup>1,2</sup>, Х.С. УМАРОВ<sup>2</sup>*

*F.I. KHARISOVA<sup>1</sup>, G.G. DERZAYEVA<sup>1</sup>, A.K. DASHIN<sup>1,2</sup>, H.S. UMAROV<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup>Казанский федеральный университет,  
<sup>2</sup>ООО «КВЕЛЛ»)*

*(<sup>1</sup>Kazan Federal University,  
<sup>2</sup>LLC “KVELL”)*

E-mail: corresponding: khusan0000@bk.ru

*В статье рассматриваются принципы управления исламским краудфандингом, изложенные в стандарте управления №14 «Управление исламским краудфандингом», разработанном Организацией по бухгалтерскому учету и аудиту для исламских финансовых учреждений (ААОИФИ). В статье анализируется опыт применения краудфандинга в текстильной промышленности на примере проекта эко-одежды «Осока» на краудфандинговой платформе «Бумстартер». Успешная реализация данного проекта подчеркивает перспективность использования краудфандинга в текстильной промышленности как способа финансирования этой отрасли. Научная новизна исследования заключается в том, что впервые краудфандинг по исламским принципам рассмотрен с точки зрения применимости его в России в свете нового федерального закона о партнерском финансировании. По результатам проведенного исследования в статье дается определение исламского краудфандинга, раскрываются принципы институционального управления, установленные ААОИФИ: подотчетность, ответственность, справедливость, прозрачность, соблюдение норм шариата, а также делается вывод о повышении доверия общественности к краудфандингу в целом, поскольку в его основе лежат этические и нравственные принципы.*

*This article discusses the key principles for managing Islamic crowdfunding as outlined in the Governance Standard No. 14 "Governance of Islamic Crowdfunding" for Institutions Offering Islamic Financial Services, developed by the Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions (AAOIFI). The article analyzes the experience of using crowdfunding in the textile industry using the example of the eco-clothing project "Osoka" on the crowdfunding platform "Boomstarter". The successful implementation of this project highlights the promise of using crowdfunding in the textile industry as a way to finance this industry. The*

*scientific novelty of the study lies in the fact that for the first time Islamic crowdfunding is considered from the point of view of applicability in Russia in the light of the new federal law on partner financing. Based on the results of the study, the article gives a definition of Islamic crowdfunding, reveals the principles of institutional governance established by AAOIFI: accountability, responsibility, fairness, transparency, compliance with Shariah norms, and also concludes that increasing public confidence in crowdfunding in general, because it is based on ethical and moral principles.*

**Ключевые слова:** структура управления, шариат, стандарт управления, исламские финансовые услуги, исламские финансы, исламский краудфандинг, AAOIFI.

**Keywords:** governance structure, Shariah, Governance standard, Islamic financial services, Islamic finance, Islamic crowdfunding, AAOIFI.

Развитие цифровых технологий, интернет-платформ, социальных сетей привело к возникновению относительно нового экономического явления – краудфандинга. С каждым годом краудфандинг набирает все большую популярность не только за рубежом, но и в России. Краудфандинг в переводе с английского означает crowd – толпа и funding – финансирование. Данный термин подразумевает способ коллективного финансирования, где спонсорами являются интернет-пользователи. Традиционно под краудфандингом понимают коллективное сотрудничество физических лиц, которые добровольно объединяют свои денежные средства или другие ресурсы вместе, как правило, через интернет, чтобы поддержать инициативы, усилия и проекты других людей или организаций. В последние годы все больше ученых и практиков экономистов посвящают свои труды изучению данного явления.

Привлечение финансирования через краудфандинг имеет свои специфические особенности в текстильной промышленности. Актуальность привлечения финансирования в текстильную промышленность связана с особенностями конкуренции в данной отрасли. Текстильные предприятия страны вынуждены конкурировать на неравных условиях с нелегальным импортом из Китая, Турции, Пакистана, Индии, поскольку внутренний рынок страны плохо защищен. Интернационализация российской промышленности через использова-

ние краудфандинговых платформ даст конкурентное преимущество текстильным предприятиям России. Здесь существенная роль отводится психологическому фактору: финансируя через краудфандинговые платформы текстильные проекты, получаем и рекламу, и популяризацию отечественной текстильной продукции. Поэтому видится необходимым применение краудфандинга в текстильной промышленности не только как источника финансирования, но и как преимущества в конкурентной борьбе. Рассмотрим развитие идеи краудфандинга в России.

Описанию сущностных характеристик краудфандинга посвящены труды Богомолова Е.В. [1], Мухамедьяровой-Левиной Т.Т., Заболотниковой В.Д. [2], Авезова А.Х., Сатторова Ш.А. [3], Амаляна А.В. [4] и др. Так, Богомолов Е.В. [1] определяет краудфандинг как «вид инвестирования, в котором может принять участие любой желающий с целью финансирования каких-либо проектов». При этом Амалян А.В. [4] дополняет, что «в то же время употреблять слово инвестирование не есть корректно, ведь инвестор, вложивший деньги, ожидает в конечном итоге прибыль от вложенных средств, а в случае с краудфандингом люди вкладывают деньги просто за благодарность. Результатом же краудфандинга является новый продукт или услуга».

Особенности краудфандинга в России представлены в трудах Shaghikyan A., Naupapetyan H. [5]. Они пишут, что «это но-



вое явление, когда первоначальное финансирование превращается в целевой сбор средств и совместное создание проекта». Чиркова Е.В. [6] отмечает: «В России краудфандинг является хорошей поддержкой для финансирования стартапов в связи с малой доступностью инвестиций для малого предпринимательства».

Исследования Шафоростовой М.О. и Авдеевой Е.А. [7] рассматривают краудфандинг как мировой тренд.

Прогнозированию развития краудфандинга в мире посвящены труды Куликовой Е.С., Никифоровой В.А. [8]. Так, они пишут, что «краудфандинг – это новый и неосвоенный путь развития бизнеса, который может принести большие плоды в будущем».

Отличия краудфандинга и благотворительности описаны в трудах Гриценко Т.С., Передера Ж.С. [9], в которых они отмечают, что «не стоит сравнивать краудфандинг с благотворительностью. От нее он отличается тем, что это финансовый механизм, который предполагает получение вознаграждения спонсорами. Краудфандинг объединяет группу страстных сторонников для финансирования проекта, который, по их мнению, необходимо воплотить в жизнь».

Преимущества и недостатки краудфандинга изучены в трудах Полихрониди А.В. [10]. Перспективы развития краудфандинга в России исследованы в работах Литвиновой Е.В., Цыбули Я. [11], Ахмадиевой Г.Р. [12], Якушевой А.М., Плехановой А.В. [13], Сынгур А.С. [14], Ткачева А., Баталко В. [15]. На основе изучения вышеприведенных трудов, посвященных краудфандингу, можно сделать ряд выводов:

- 1) краудфандинг весьма актуальное современное экономическое явление;
- 2) исследованию краудфандинга посвящено множество трудов российских и зарубежных ученых;
- 3) в России развитие краудфандинга также набирает обороты;
- 4) существует ряд проблем, с которыми сталкивается развитие краудфандинга как за рубежом, так и в России.

Итак, изучение литературы в области краудфандинга привело к выводу, что есть ряд проблем, с которыми сталкивается развитие краудфандинга. Этим проблемам и предлагаемым вариантам их решения посвящены труды Ахмадиевой Г.Р. [12], Якушевой А.М., Плехановой А.В. [13], Сынгур А.С. [14], Ткачева А., Баталко В. [15]. По результатам их изучения можно сделать вывод, что до недавнего времени сфера краудфандинга в России никак не регулировалась законодательно. Однако 2 августа 2019 года был принят Федеральный закон "О привлечении инвестиций с использованием инвестиционных платформ и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" № 259–ФЗ. Но, к сожалению, отсутствие нормативного регулирования было не единственной проблемой в данной сфере. Вот еще три проблемы краудфандинга в России, которые характерны и для сегодняшнего дня:

1. Идея краудфандинга малоизвестна. Эта проблема решается популяризацией краудфандинга всеми заинтересованными (и не только) сторонами. Кроме того, само время работает на популяризацию краудфандинга.

2. Многие инноваторы не умеют работать на продвижение своего проекта, правильно определять свою целевую аудиторию и контактировать с ней. Эта проблема решается самими платформами [16, 17].

3. Недоверие. Краудфандинг находится между доверием к личности автора и недоверием к подобным платформам и в целом сбору средств. Эта проблема не находит своего решения в экономической сфере, поскольку носит субъективный характер. Однако, на наш взгляд, есть вид краудфандинга, использование которого приведет к резкому росту доверия к краудфандингу в целом – краудфандинг по исламским принципам. Его отличительной особенностью как раз и является опора на нравственные и этические принципы, а следовательно, развитие исламского краудфандинга приведет к повышению доверия к краудфандингу в целом [18].

Актуальность данной темы в России подтверждается на федеральном уровне ожидаемым к введению в действие с 2023 года федеральным законом о партнерском исламском финансировании, в проекте которого в статье об операциях и сделках участника экспериментального правового режима ему предоставляется право осуществлять следующие операции и сделки:

а) привлечение денежных средств юридических и физических лиц путем заключения договоров партнерского инвестирования;

б) привлечение денежных средств и (или) иного имущества юридических и физических лиц в виде участия в капитал участника экспериментального правового режима;

в) предоставление денежных займов юридическим и физическим лицам без взимания вознаграждения в виде процентов;

г) финансирование физических и юридических лиц путем заключения договоров купли-продажи (в том числе недвижимого имущества) с условием о рассрочке (отсрочке) платежа или договоров финансовой аренды (лизинга);

д) финансирование деятельности путем участия в уставных капиталах юридических лиц и (или) на условиях партнерства;

е) предоставление поручительств;

ж) иные операции и сделки, не противоречащие законодательству Российской Федерации.

Кроме того, в отличие от традиционного краудфандинга в основе исламского краудфандинга лежит квалифицированно и авторитетно изданный регулирующий стандарт управления №14 «Управление исламским краудфандингом», разработанный ААОIFI – организацией по бухгалтерскому учету и аудиту для исламских финансовых учреждений. ААОIFI была зарегистрирована в Королевстве Бахрейн спустя 15 лет после создания Международной федерации бухгалтеров IFAC, созданной в Мюнхене (ныне со штаб-квартирой в Нью-Йорке). Всего ААОIFI выпустила к апрелю 2023 года 114 стандартов: шариатских – 61 стандарт, по бухгалтерскому учету – 31, по внешнему аудиту – 6, по внутреннему

аудиту – 1, по этике – 1, по управлению – 14 стандартов. Стандарты по шариату являются обязательными к применению в Бахрейне, Омане, Пакистане, Судане и Сирии. Стандарты по шариату, бухгалтерскому учету, аудиту, управлению и кодекс этики соблюдаются полностью, частично или в качестве руководства во многих странах мира, в числе которых Бахрейн, Иордания, Киргизская Республика, Нигерия, Катар, Оман, Пакистан, Судан, Сирия, Йемен и др. Этот регулятор продвигает и повышает надежность и стабильность индустрии исламских финансовых услуг, выпуская глобальные стандарты и руководящие принципы для банковского сектора, рынка капитала и страхового сектора. Одним из важнейших стандартов управления, разработанных ААОIFI, является стандарт управления №14 «Управление исламским краудфандингом».

Целью данного исследования является повышение доверия инвесторов к такому инструменту, как краудфандинг, через обзор принципов управления исламским краудфандингом, изложенных в стандарте управления №14 «Управление исламским краудфандингом».

Исламский краудфандинг является развивающимся источником альтернативного финансирования в странах, экономика которых основана на исламских принципах. В исламском краудфандинге инвесторы предлагают свой капитал эмитентам через исламские краудфандинговые платформы для социальных или коммерческих проектов. Системы управления исламскими краудфандинговыми платформами и весь процесс должны соответствовать самым высоким фидуциарным стандартам для защиты интересов основных заинтересованных сторон, а также общества, которому служит исламский краудфандинг.

Ожидается, что операторы исламского краудфандинга, разработавшие эффективную практику управления, завоеуют доверие общественности и соответственно доверие своих дольщиков, инвесторов и других сторон, имеющих с ними дело.

С ростом интереса общества к исламскому краудфандингу ожидается, что он

будет иметь большой потенциал влияния на будущее исламских финансов. Однако существует риск того, что, будучи относительно новой и менее регулируемой областью, исламский краудфандинг без надлежащего управления может стать причиной репутационного риска для индустрии ис-

ламских финансов. Таким образом, необходимо обеспечить надлежащее управление всем процессом, чтобы установить общественное доверие [19]. Для этого ААОIFI разработало стандарт управления №14 «Управление исламским краудфандингом». Его структура представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Раздел	Содержание
Сокращения	Приводятся основные сокращения, используемые в стандарте
Объяснение стандарта	Приводятся причины и необходимость выпуска данного стандарта
Цель стандарта	Описывается сфера применения стандарта
Определения	Приводятся основные термины и определения, используемые в стандарте
Раздел А. Основные принципы управления исламским краудфандингом	Дается объяснение ключевым понятиям: - основные принципы институционального управления; - основные заинтересованные стороны исламского краудфандинга; - основные принципы управления исламским краудфандингом
Раздел В. Структура управления и контроля исламского краудфандинга	Дается описание: - ключевых элементов управления и контроля исламского краудфандинга; - понятия оператор; - критериев приемлемости для исламского краудфандинга; - нормативного разрешения для исламского краудфандинга; - применимости соответствующих стандартов управления ААОIFI; - функции соблюдения норм шариата; - поддержания капитала и ликвидности операторов; - использования технологий и автоматизированных процессов; - требований к управлению и контролю, применимые к различным другим элементам.
Раздел С. Общие и пред-эмиссионные положения	Рассматриваются требования к выпуску исламского краудфандинга: - назначение доверительного управляющего; - сохранение и высвобождение средств, находящихся в доверительном управлении; - критерии эмитента, должная осмотрительность и наращивание потенциала; - ответственность оператора; - критерии и категории провайдеров фондов. Шариатский наблюдательный совет: назначение и состав, основные обязанности и полномочия, право на информацию и записи, круг полномочий и независимость, подотчетность; Комитет по аудиту и управлению: назначение и состав, полномочия; оценка возможностей платформы
Раздел D. Обязанности и ответственность всех сторон в течение жизненного цикла исламского краудфандинга	Рассматриваются обязанности и ответственность всех сторон во время жизненного цикла исламского краудфандинга: 1) обязанности эмитента в течение жизненного цикла эмиссии: - использование поступлений от эмиссии; - управление основными операциями в соответствии с принципами и правилами шариата; - соблюдение договорных обязательств; - ответственность эмитента за соблюдение принципов и правил шариата; - ответственность эмитента за надлежащее управление; - ответственность эмитента в случае возможности торговли и досрочного погашения; 2) обязанности оператора в течение жизненного цикла эмиссии: - функция и отделы по соблюдению требований шариата; - управление рисками несоблюдения требований шариата; - поддержка пользователей и обратная связь; - возможности торговли и досрочного погашения; 3) обязанности Шариатского наблюдательного совета: - общий надзор и регулярные встречи; - периодический отчет; - изменение(я) в составе, - внешний шариатский аудит

Раздел Е. Изменения в выпуске до предполагаемого срока погашения	Рассматриваются обязанности и ответственность всех сторон во время внесения изменений до предполагаемого срока погашения
Приложения к стандарту	Приложение А. Минимальные требования и должная осмотрительность поставщиков фондов. Приложение В. Минимальные требования к управлению и защите личной информации. Приложение С. Основа для заключения. Приложение D. Краткая история подготовки стандарта.

По данным табл. 1 можно сделать вывод о том, что главной целью стандарта управления №14 «Управление исламским краудфандингом» является установление всеобъемлющей основы управления исламским краудфандингом. Ожидается, что внедрение надлежащей практики управления исламским краудфандингом посредством принятия этого стандарта поможет отрасли достичь следующих целей:

а) повысить доверие общественности к сектору исламского краудфандинга и, как следствие, обрести устойчивость и рост сектора;

б) содействовать экономическому развитию посредством поощрения предпринимательства, большей доступности инвестиций, соответствующих нормам шариата, и развитию сектора социального финансирования.

Согласно стандарту краудфандинг – это сбор средств на конкретные базовые операции (кампанию и/или проект) на платформах, объединяющих группу поставщиков средств для предоставления средств на коммерческой или социальной (некоммерческой) основе. Коммерческий исламский краудфандинг – это исламский краудфандинг, при котором базовые операции носят коммерческий характер, а эмиссия исламского краудфандинга предусматривает обещанный доход для поставщиков средств. Также стандарт поясняет, что краудфандинг – это практика финансирования проекта или предприятия путем привлечения денег (обычно, но необязательно, небольших сумм) от большого числа людей с использованием финансовых технологий и устранением традиционных финансовых посредников из процесса. Финансирование может быть в форме коммерческих средств

(таких как финансирование с возвратом и инвестиции на основе участия) или в форме некоммерческих средств (таких как беспроцентные кредиты и благотворительные пожертвования). Краудфандинг является формой альтернативного финансирования и инвестиций, которая использует легкую доступность людей в социальных сетях и онлайн-сообществах для объединения поставщиков средств и проектов [20].

В число сторон исламского краудфандинга обычно входят следующие:

- а) оператор;
- б) инвесторы и потенциальные инвесторы;
- с) эмитент;
- д) доверительный управляющий;
- е) собственник платформы (если он отличается от оператора).

Основные принципы управления исламским краудфандингом (табл. 2) разработаны с учетом ключевых столпов институционального управления.

Согласно табл. 2 ключевые принципы управления классифицированы согласно столпам институционального управления:

а) подотчетность – все органы управления, включая руководство, несут ответственность за выполнение своих соответствующих функций;

б) справедливость – все заинтересованные стороны нужно рассматривать справедливо;

в) прозрачность – деятельность организации должна быть прозрачной, а финансовая и оперативная отчетность должна выполняться таким образом, чтобы ничто не было скрыто от соответствующих заинтересованных сторон;

г) ответственность – организация и ее органы управления должны действовать от-

ветственно по отношению к заинтересованным сторонам и обществу/сообществу в целом;

д) соблюдение норм шариата – все органы управления, включая руководство,

обеспечивают общую деятельность учреждения в соответствии с принципами и правилами шариата.

Т а б л и ц а 2

	Принцип	Описание принципа
1	Обеспечение соблюдения норм шариата	Соответствие принципам и правилам шариата по юридической форме и экономической реальности.
2	Повышение доверия заинтересованных сторон	Соответствующие механизмы управления и демонстрации надлежащей практики управления должны быть прозрачными для обеспечения доверия и уверенности заинтересованных сторон.
3	Обеспечение справедливости и равноправия	Интересы различных заинтересованных сторон должны быть защищены посредством справедливого и равноправного обращения и избегания конфликта интересов различных заинтересованных сторон.
4	Надлежащее распределение обязанностей	Лица, отвечающие за управление, руководство, и отдельные лица в рамках каждого элемента исламского краудфандинга понимают свои обязанности и действуют соответствующим образом.
5	Обеспечение прозрачных и жизнеспособных бизнес-моделей	Бизнес-модель выпуска исламского краудфандинга должна быть прозрачной, жизнеспособной, устойчивой и соответствовать законодательным и нормативным требованиям в дополнение к принципам и правилам шариата.
5.1	Обеспечение подотчетности	Оператор и эмитент, в частности, а также другие элементы исламского краудфандинга в целом несут ответственность перед заинтересованными сторонами в отношении своих соответствующих обязанностей.
5.2	Выполнение социальной ответственности	Коммерческие соображения не ставят под угрозу социальную ответственность соответствующих элементов.
5.3	Обеспечение этичного поведения и этичной деловой культуры	Деловые ценности лежат в основе поведения всех лиц и элементов исламского краудфандинга, чтобы действовать этично в соответствии с хорошо документированным этическим кодексом.
5.4	Обеспечение компетентности и пригодности	Лица, входящие в состав тех, кому поручено управление (т.е. руководство и другие органы управления), должны быть компетентны и пригодны для выполнения своих функций на основе заранее определенного набора критериев.
5.5	Обеспечение эффективного надзора и контроля	Лица, на которых возложена ответственность за управление (т.е. руководство), должны обеспечивать эффективный надзор и контроль в соответствии с функциональными возможностями выпуска.
6	Обеспечение адекватного механизма управления рисками	Соответствующие риски идентифицируются, оцениваются, управляются, смягчаются и сообщаются таким образом, чтобы обеспечить существование устойчивой и стабильной бизнес-модели.
7	Обеспечение адекватного уровня раскрытия информации и прозрачности	Документы по размещению акций (включая проспект эмиссии, информационный меморандум или аналогичный документ под любым названием) предоставляют адекватную, прозрачную и точную информацию без каких-либо двусмысленностей; необходимые риски идентифицируются и сообщаются; высококачественные периодические финансовые отчеты составляются, аудированы и выпускаются на регулярной основе. Другими словами, раскрытие информации должно быть своевременным, ясным, кратким, точным и уместным, уделяющим должное внимание существенной информации, а также последовательным и сопоставимым.
8	Проведение внешнего шариатского аудита	Получение независимого заключения о соответствии принципам и правилам шариата
9	Поддержание соответствующей модели разрешения споров и арбитража	Существует, документируется и внедряется структура для обеспечения дружественного разрешения споров и арбитража между заинтересованными сторонами в соответствии с принципами и правилами шариата.
10	Поддержание контроля	Внедрение надежной системы внутреннего контроля, включающей эффективную среду контроля, оценку ключевых рисков, контрольные мероприятия, своевременные и эффективные процессы информирования и коммуникации, а также процессы надзора/мониторинга.
11	Обеспечение эффективного исполнения	Принципы и стандарты управления обеспечиваются с помощью соответствующих средств и механизмов, а также надзора и контроля за ними.

Стандарт устанавливает всеобъемлющую основу для управления исламским краудфиндингом, охватывает несколько важных аспектов управления и систем контроля, включая соблюдение принципов и правил шариата, защиту интересов различных заинтересованных сторон, информационные технологии и защиту данных, а также структуру управления, применяемую к каждой эмиссии исламского краудфан-

динга на различных этапах сделки (в зависимости от различных заинтересованных сторон и элементов исламского краудфиндинга) [21]. В нем также подчеркиваются требования к прозрачности и раскрытию информации для обеспечения справедливых и равноправных сделок в максимально возможной степени. Кроме того, стандарт применяет принципы пропорциональности в различных аспектах структур управления.



Рис. 1

Текстильная промышленность является одной из перспективных отраслей для развития краудфандинга. Если доля в ВВП легкой промышленности составляет 1,2%, то доля инвестиций более чем в 10 раз меньше – 0,1%. О краудфандинге как мере, способствующей развитию лояльности потребителей в текстильной промышленности, пишут и ученые. Так, в статье М.В. Мошкариной [22] именно краудфандинг выдвигается как мера, способствующая интернационализации и повышению лояльности потребителей текстильной компании, опирающаяся на взаимодействие государства, текстильного кластера и общественности. На рис. 1 представлены отличительные особенности исламского краудфандинга для успешной реализации проектов в текстильной промышленности.

Примером успешного проекта в текстильной промышленности, реализуемого с помощью краудфандинга, является проект эко-одежды «Осока» на краудфандинговой платформе «Бумстартер». «Краудфандинг – это хороший способ для финансирования, хотя и там много подводных камней. Благодаря краудфандингу аудитория проекта выросла, о нем узнали и заинтересовались» [23].

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) краудфандинг по исламским принципам – это сбор средств на конкретные базовые операции (кампанию и/или проект) на платформах, объединяющих группу поставщиков средств для предоставления средств на коммерческой или социальной (некоммерческой) основе, но в основе кампании и/или продукта лежат исламские принципы;

2) целью стандарта №14 «Управление исламским краудфандингом» является повышение доверия общественности к сектору исламского краудфандинга и, как следствие, устойчивость и рост сектора, содействие экономическому развитию посредством поощрения предпринимательства, большей доступности инвестиций, развитию сектора социального финансирования;

3) исламские принципы управления краудфандингом разработаны в соответствии с принципами институционального управления,

4) в основе краудфандинга по исламским принципам лежат этические и нравственные принципы, что повышает доверие общественности к краудфандингу в целом;

5) краудфандинг по исламским принципам может стать частью российской действительности с вступлением в силу федерального закона о партнерском финансировании.

Таким образом, уникальной особенностью деятельности учреждений, предлагающих исламские финансовые услуги, является наличие надежной системы шариатского управления, которая может обеспечить эффективное и своевременное внедрение принципов и правил шариата во всех их продуктах, услугах и операциях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов Е.В. Финансирование экономического развития без ссудного процента // Экономика. Налоги. Право. 2016. Т. 9, № 4. С. 72...78.
2. Мухамедьярова-Левина Т.Т., Заболотникова В.Д. Краудфандинг как способ коллективного инвестирования // Вестник университета Туран. 2020. № 2 (86). С. 136...140.
3. Азезов А.Х., Самторов Ш.А. Модели финансирования инвестиций на предприятиях малого и среднего бизнеса Таджикистана // Вестник ПИТТУ им. М.С. Осими. 2020. № 4 (17). С. 73...86.
4. Амалян А.В., Амалян Н.Д. Эволюция бизнес-моделей долгового краудфандинга // Бизнес-информ. 2019. № 5 (496). С. 174...179.
5. Shaghikyan A., Hayrapetyan H. Equity crowdfunding in the eurasian economic union (EAEU) // Finance: Theory and Practice. 2020. Т. 24, № 3. С. 45...59.
6. Чиркова Е.В., Тарасова Н.Е. Краудфандинг: новый способ привлечения инвестиций. Развитие краудфандинга в России на основе международной практики // Символ науки. 2020. № 5. С. 116...119.
7. Шафоростова М.О., Авдеева Е.А. Перспективное направление социального предпринимательства – краудфандинг // Цифровая и отраслевая экономика. 2021. № 4 (25). С. 82...88.
8. Куликова Е.С., Никифорова В.А. Современные финансовые потоки: краудфандинг // Бенефициар. 2016. № 1 (1). С. 72...77.
9. Гриценко Т.С., Передера Ж.С. Краудфандинг: инструмент финансирования проектов // Экономика и предпринимательство. 2018. № 9 (98). С. 722...725.



10. *Полихрониди А.В.* Проблемы правового регулирования краудфандинга в России // Вопросы российской юстиции. 2020. № 9. С. 466...472.

11. *Литвинова Е.В., Цыбуля Я.* Мировая система краудфандинга: проблемы и перспективы развития в России // Инновационная экономика – основа устойчивого развития государства. Уфа, 2018. Ч. 2. С. 6...9.

12. *Ахматиева Г.Р.* Правовое регулирование краудфандинга // Юриспруденция 2.0: новый взгляд на право. М.: РУДН, 2017. С. 389...392.

13. *Якушева А.М., Плеханова А.В.* Проблемы и перспективы развития краудфандинга в России // Прикладные исследования в поле регионального стратегического дискурса современной России. Н. Новгород, 2018. С. 268...274.

14. *Сынгур А.С.* Анализ рисков краудфандинга и предложения по их минимизации // Интеллектуальная собственность: взгляд в будущее. М.: РГАИС, 2020. Ч. 2. С. 106...113.

15. *Ткачев А., Баталко В.* Возможности и риски краудфандинга и p2p-займов // Банковский вестник. 2018. № 5 (658). С. 37...44.

16. Обзор краудфандинговых платформ. – <http://www.probivnoy.com/kraudfanding-cto-eto-obzor-kraudfandingovyxplatform.html>

17. Яндекс запустил краудфандинг-платформу “Вместе”. – <https://droider.ru/post/yandeks-zapustil-kraudfanding-platformu-vmeste-22-10-2014/>

18. *Умаров Х.С.* Роль краудфандинга как инструмента инновационной трансформации рынка капитала // Финансы и кредит. 2021. Т. 27, № 12 (816). С. 2872...2896.

19. *Каморджанова Н.А., Богатая И.Н., Дерзаева Г.Г.* Актуальные методы формирования, анализа и контроля отчетности системообразующих корпоративных структур. М.: Русайнс, 2022. 264 с.

20. *Харисова Ф.И., Ахматиева Г.Г., Умаров Х.С.* Кодекс этики профессионалов по исламским финансам (AAOIFI). Саратов: Амирит, 2022. 364 с.

21. *Kharisova F.I., Kozlova N.N.* Applying the category of Assertions (or preconditions) in audit of financial statement // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. Vol. 5. Is. 24. P. 180...184.

22. *Мошкаркина М.В.* Модель управления лояльностью потребителей текстильной отрасли // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (бенардосовские чтения). Иваново: ИГЭУ, 2019. Т. I. С. 273...277.

23. <https://riamoda.ru/news/116703.html>.

## REFERENCES

1. *Bogomolov E.V.* Financing economic development without loan interest // Economics. Taxes. Right. 2016. V. 9. No. 4. S. 72...78.

2. *Mukhamedyarova-Levina T.T., Zabolotnikova V.D.* Crowdfunding as a way of collective investment // Turan University Bulletin. 2020. No. 2 (86). P. 136...140.

3. *Avezov A.Kh., Sattorov Sh.A.* Models of financing investments in small and medium-sized businesses in

Tajikistan // Bulletin of PITTU named after academician M.S. Osimi. 2020. No. 4 (17). P. 73...86.

4. *Amalyan A.V., Amalyan N.D.* Evolution of business models of debt crowdfunding // Business inform. 2019. No. 5 (496). P. 174...179.

5. *Shaghikyan A., Hayrapetyan H.* Equity crowdfunding in the eurasian economic union (EAEU) // Finance: Theory and Practice. 2020. V. 24. No. 3. S. 45...59.

6. *Chirkova E.V., Tarasova N.E.* Crowdfunding: a new way to attract investment. development of crowdfunding in Russia based on international practice // Symbol of science: international scientific journal. 2020. No. 5. P. 116...119.

7. *Shafarostova M.O., Avdeeva E.A.* A promising direction of social entrepreneurship is crowdfunding // Digital and sectoral economics. 2021. No. 4 (25). P. 82...88.

8. *Kulikova E.S., Nikiforova V.A.* Modern financial flows: crowdfunding // Beneficiary. 2016. No. 1 (1). P. 72...77.

9. *Gritsenko T.S., Peredera Zh.S.* Crowdfunding: a tool for project financing // Economics and Entrepreneurship. 2018. No. 9 (98). P. 722...725.

10. *Polychronidi A.V.* Problems of legal regulation of crowdfunding in Russia // Issues of Russian justice. 2020. No. 9. P. 466...472.

11. *Litvinova E.V., Tsybulya Ya.* The global system of crowdfunding: problems and prospects for development in Russia // Innovative economy – the basis of sustainable development of the state. Ufa. 2018. P. 6...9.

12. *Akhmatieva G.R.* Legal regulation of crowdfunding // Jurisprudence 2.0: a new look at the law. Moscow, 2017. P. 389...392.

13. *Yakusheva A.M., Plekhanova A.V.* Problems and prospects for the development of crowdfunding in Russia // Applied research in the field of regional strategic discourse in modern Russia. N.Novgorod, 2018. P. 268...274.

14. *Syngur A.S.* Analysis of the risks of crowdfunding and proposals for their minimization // Intellectual property: a look into the future. Moscow, 2020. S. 106...113.

15. *Tkachev A., Batalko V.* Opportunities and risks of crowdfunding and p2p loans // Bank Bulletin. 2018. No. 5 (658). P. 37...44.

16. <http://www.probivnoy.com/kraudfanding-cto-eto-obzor-kraudfandingovyxplatform.html>

17. <https://droider.ru/post/yandeks-zapustil-kraudfanding-platformu-vmeste-22-10-2014/>

18. *Umarov H.S.* The role of crowdfunding as a tool for innovative transformation of the capital market // Finance and credit. 2021. V. 27. No. 12 (816). P. 2872...2896.

19. *Kamordzhanova N.A., Bogataya I.N., Derzaeva G.G.* Actual methods of formation, analysis and control of reporting of backbone corporate structures. Moscow. 2022. 264 p.

20. *Kharisova F.I., Akhmatieva G.G., Umarov Kh.S.* Code of Ethics for Islamic Finance Professionals (AAOIFI). Saratov, 2022. 364 p.

21. Kharisova F.I, Kozlova N.N. Applying the category of Assertions (or preconditions) in audit of financial statement // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. Vol. 5. Is. 24. P. 180...184.

22. Moshkarina M.V. Model of consumer loyalty management in the textile industry // Modern management tools. Vol. I. Ivanovo: ISUE, 2019. P. 273...277.

23. <https://riamoda.ru/news/116703.html>

Рекомендована кафедрой учета, анализа и аудита Института управления, экономики и финансов Казанского федерального университета. Поступила 10.10.23.

УДК811.111-26:677.022.3/.5  
DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_289

## МОТИВАЦИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### MOTIVATION FOR LEARNING A FOREIGN LANGUAGE FOR STUDENTS IN THE FIELD OF STUDY TECHNOLOGY AND TEXTILE DESIGN

Х.А. АБДУЛЛОЗОДА<sup>1</sup>, Н.Н. ШОХИЁН<sup>1</sup>, А.Н. ШОХИЁН<sup>1</sup>,  
Б.Д. КУРБОНЗОДА<sup>1</sup>, А.Ф. ПЛЕХАНОВ<sup>2</sup>, Е.И. БИТУС<sup>3</sup>

H.A. ABDULLOZODA.<sup>1</sup>, N.N. SHOHIYON<sup>1</sup>, A.N. SHOHIYON<sup>1</sup>,  
B.D. QURBONZODA<sup>1</sup>, A.F. PLEKHANOV<sup>2</sup>, E.I. BITUS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб, Республика Таджикистан,  
<sup>2</sup>Российский государственный социальный университет,  
<sup>3</sup>Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ))

(<sup>1</sup>Kulob Institute of Technology and Innovation Management, Republic of Tajikistan,  
<sup>2</sup>Russian State Social University,  
<sup>3</sup>Biotechnological University)

E-mail: habibullo-n@yandex.ru, vonahelp@mail.ru, evgenbit@yandex.ru

*В статье рассматриваются педагогические проблемы поиска способов повышения мотивации у обучающихся по направлению подготовки Технология и проектирование текстильных изделий к изучению иностранного языка. Указывается, что в педагогике мотивация считается наиболее неоспоримым и изученным фактором успешности обучения в целом и изучения иностранного языка в частности. Она является пусковым механизмом любой деятельности, будь то труд, общение или познание. Анализируя различные точки зрения, авторы пытаются понять, что может побудить у обучающихся желание плодотворно работать над овладением иностранным языком, что может быть мощным источником мотивации и как сделать так, чтобы мотивация внешняя переросла в устойчивую внутреннюю. Также в данной статье представлены результаты эмпирического исследования, посвященного проблеме мотивации обучающихся неязыковых направлений подготовки к изучению иностранного языка. Цель исследования заключается в выявлении типа и уровня мотивации к изучению английского языка у обучающихся неязыковых профилей подготовки.*

*The article discusses the pedagogical problems of finding ways to increase the effectiveness of motivating students majoring in technology and textile design to learn a foreign language. It is indicated that in pedagogy, motivation is considered the most undeniable and studied factor in the success of learning in general and learning a foreign language in particular. It is the trigger for any activity, be it work, communication or cognition. Analyzing different points of view, the authors try to understand what can motivate students to work fruitfully on mastering a foreign language, what can be a powerful source of motivation and how to make sure that external motivation develops into sustainable internal motivation. This article also presents the results of an empirical study devoted to the problem of motivation of students in non-linguistic areas of preparation for learning a foreign language. The purpose of the study is to identify the type and level of motivation to learn English among students of non-linguistic backgrounds.*

**Ключевые слова:** мотивация, мотив, иноязычная подготовка, высшее образование, сотрудничество, обучающийся, диагностика, текстиль, инженер-технолог, технология.

**Keywords:** motivation, motive, foreign language learning, higher education, cooperation, student, diagnostic, textile, engineer-technologist, technology.

Содержание особенностей профессиональной деятельности современных выпускников в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Российской Федерации по направлению подготовки бакалавриата 29.03.02 Технологии и проектирование текстильных изделий предполагает формирование универсальных и общепрофессиональных компетенций [1].

В категории (группе) универсальных компетенций «Коммуникация» ФГОСом предусмотрена универсальная компетенция УК-4, связанная с глубоким изучением иностранного языка: «осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)». Более десятка универсальных и общепрофессиональных компетенций в той или иной форме предполагают владение иностранным языком. К таким компетенциям относятся:

- поиск, критический анализ и синтез информации (УК-1);
- осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде (УК-3);

- воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этническом и философском контекстах (УК-5);

- управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни (УК-6);

- участвовать в реализации современных технически совершенных технологий по выпуску конкурентоспособных текстильных материалов и изделий (ОПК-2);

- использовать современные информационные технологии и прикладные программные средства при решении задач производства текстильных материалов и изделий (ОПК-4);

- использовать техническую документацию в процессе производства текстильных материалов и изделий с учетом требований потребителя (ОПК-6);

- участвовать в маркетинговых исследованиях товарных рынков (ОПК-9).

Среди требований к результатам освоения программы магистратуры [2] к общекультурным компетенциям относится способность свободно пользоваться русским и

иностранными языками как средством делового общения (ОК-4).

Эти особенности профессиональной деятельности в значительной степени определяют структуру, цели, содержание и характер учебно-воспитательного процесса, мотивационные механизмы, благоприятные педагогические условия обеспечения профессиональной подготовки будущего выпускника, ее уровень и качество. Это, в свою очередь, выдвигает поиск эффективной мотивации обучающихся к изучению иностранных языков на уровень серьезной педагогической проблемы.

В отечественной психологии изучение мотивации имеет давние традиции. Современные представления о мотивации берут свое начало с концепций О.М. Леонтьева, С.Л. Рубинштейна, Д.М. Узнадзе [3, 4].

В педагогике мотивация считается наиболее неоспоримым и изученным фактором успешности обучения в целом и изучения иностранного языка в частности. Она является пусковым механизмом любой деятельности, будь то труд, общение или познание. П.М. Якобсон определяет три типа мотивации обучения [5].

Во-первых, существует мотивация, которая может быть названа «отрицательной», под которой понимается побуждение обучающегося, вызванное осознанием определенных неудобств и неприятностей, которые могут возникнуть, если он не будет учиться (укоры со стороны родителей, преподавателей и однокурсников). Подобная мотивация вряд ли приведет к успешным результатам.

Во-вторых, мотивация, имеющая положительный характер, но также связанная с мотивами, не заложенными в самой учебной деятельности. Эта мотивация определяется весомыми для личности социальными устремлениями, в связи с чем обучение рассматривается как путь к осуществлению своего назначения в жизни. Подобная установка в учении, если она достаточно постоянна и занимает существенное место в личности учащегося, дает ему вдохновение для преодоления трудностей, для выявления терпения и усердия. Это наиболее

ценная мотивация. Однако, если в процессе обучения данная установка не будет подкреплена другими мотивационными факторами, то она не обеспечит максимального эффекта.

Третья форма мотивации определяется особыми мотивами обучающегося: одобрения людей из его окружения, путь к собственному благополучию и т.п. К этому побуждает учиться сам процесс приобретения знаний, и обучающийся испытывает удовлетворение от процесса и результатов познавательной деятельности, открытия нового, реализации своих возможностей и способностей. Следовательно, побуждение к обучению исходит в данном случае из его целей.

Современные исследователи проблем мотивации обучающихся, в том числе при изучении иностранного языка, основными критериями ее формирования считают наличие познавательных мотивов и целей, наличие положительных эмоций, которые вызывает процесс обучения, умение и желание учиться, умение и возможности применять полученные знания на практике [6, 7].

Существенную роль играет внутренняя мотивация, когда деятельность обучающихся направлена на изучение содержания учебного предмета и овладение этим содержанием (познавательная мотивация), на использование языка в профессиональных целях (предметно-функциональная мотивация), на просмотр фильмов, знакомство с выдающимися памятниками культуры (развлекательная мотивация), на использование языка с целью повышения общего уровня образованности (учебная мотивация) и т.п. Различают внешнюю и внутреннюю мотивации. Внутренняя зависит от внутренней среды (преподаватель, учебная группа, окружение). Внешняя мотивация обусловлена значимостью информации о стране, языке которой изучается, ее культуре и истории, осознанием важности языка для реализации потребностей. Преподавателю важно знать потребности, которыми руководствуются обучающиеся, он должен постоянно поддерживать мотивацию обучения на высоком уровне [8].

По мнению Н.Д. Гальсковой и Н.И. Гез, языковая личность представляет собой многослойный набор языковых способностей, таланта, умений к осуществлению речевых поступков разной степени сложности, поступков, которые выявляют и характеризуют мотивы и цели, определяют развитие личности, ее поведение. Кроме этого исследователи настаивают на том, что обучение иностранному языку должно стимулировать высокую личностную мотивацию у обучающихся в общении на этом языке и в его изучении. Свободное использование языковых средств не является полным усвоением этих средств. Не количество последних, а их качество позволяет человеку успешно осуществлять общение [9].

Система управления формированием мотивационных механизмов изучения иностранного языка не будет эффективной, если в учебно-воспитательном процессе не будут созданы благоприятные педагогические условия для творческой учебной деятельности обучающихся, самореализации их личности [10, 11]. По мнению Р.А. Гришковой, «реализация обучающимися своих творческих возможностей и развитие личности возможны только при таких психолого-педагогических условиях:

- создание учебных педагогических ситуаций, которые побуждают обучающихся к осознанию своего образа «Я» и адекватной самооценке;
- преимущество диалога над монологом в общении преподавателя с обучающимися;
- создание ситуаций успеха, формирование позитивной концепции обучающегося;
- технологизация процесса изучения иностранного языка;
- изменение позиции преподавателя в отношении обучающегося».

Анализируя различные точки зрения, авторы пытаются понять, что может побудить обучающегося плодотворно работать над овладением иностранным языком, что может быть мощным источником мотивации и как сделать так, чтобы внешняя мотивация переросла в устойчивую внутреннюю.

Если для дисциплины Иностранный язык в языковом вузе (факультете) мотивация является естественной, то, как правило,

в неязыковых высших учебных заведениях в условиях отсутствия реального языкового окружения крайне необходима искусственная мотивация. Цель преподавателя заключается не только и не столько в том, чтобы ознакомить обучающихся с предметом на первом занятии, сколько заинтересовать их, создать условия для активизации познавательной деятельности, пробудить желание к ней. Для реализации и популяризации этой цели преподаватель должен использовать такие инструменты:

а) организация встреч обучающихся на старших курсах с выпускниками, являющимися эталоном успешности в профессиональной сфере, которые могут доказать, что не только профессиональные знания, но и высокий уровень владения языком позволил им достичь поставленной цели;

б) создание обстановки, где бы знание иностранного языка считалось престижным, где бы существовала здоровая атмосфера и обучающиеся видели бы реальные возможности повышения уровня знаний;

в) активизация самостоятельной работы обучающихся путем привлечения их к страноведческим конференциям и конференциям по направлению подготовки с использованием иностранного языка с целью понимания ими, что знание языка дает возможность быть в курсе последних событий в науке, технике, технологиях, профессии и жизни вообще. На этом этапе очень важную роль играет личность педагога, его общая и профессиональная культура и педагогическое мастерство.

Представляется целесообразным спланировать все время, отведенное на изучение иностранного языка профессионального общения, таким образом, чтобы в течение трех лет после окончания обязательного изучения языка обучающиеся могли поддерживать этот уровень, а преподаватели его контролировать. На втором, третьем и четвертом курсах обучения для тех обучающихся дневной формы, кто планирует продолжить обучение в магистратуре и аспирантуре, целесообразно ввести так называемый поддерживающий (или корректирующий) курс иностранного языка профессионального общения в форме заоч-

ного обучения. В августе-сентябре обучающиеся, нацеленные на дальнейшее изучение иностранного языка профессионального общения, будут иметь возможность посещения установочных лекционно-практических занятий, где они получают контрольные задания от преподавателей, рассчитанные на самостоятельное выполнение, которые предполагают изучение определенного материала и овладение новыми языковыми средствами и конструкциями. Преподаватель дает теоретическую часть и практические советы по самостоятельному овладению дисциплиной. На модульной неделе в середине семестра обучающиеся направляют выполненные контрольные работы, встречаются в консультационном порядке с преподавателями, получают зачетную оценку и новое контрольное задание. В зимнюю сессию процедура повторяется, и так в течение следующих пяти семестров. Такая система совмещения дневной формы обучения с заочной – хороший мотивационный элемент поддержания заинтересованности обучающихся в изучении иностранного языка, особенно для тех, кто нацелен на практически значимый результат его использования, а не только на освоение определенной суммы знаний.

Таким образом, можно констатировать, что только сознательная самостоятельная работа, направляемая преподавателем, дает положительные результаты и возможность развития самостоятельности, высокой самоорганизации, творческого подхода, подчинения учебной деятельности будущей профессиональной деятельности. Она не только плодотворно использует имеющиеся мотивационные механизмы, но и сама выступает одним из наиболее эффективных из них, существенно расширяет мотивационную сферу обучающихся и направляет ее на овладение иностранным языком.

Для более основательного и глубокого анализа ситуации, выявления характерных особенностей структуры мотивационной сферы проведено анкетирование среди обучающихся, в котором приняли участие более 1000 человек. Благодаря тщательному анализу результатов выявлено, что английский язык пользуется наибольшей популяр-

ностью среди иностранных языков, но более важными считаются те учебные дисциплины, которые непосредственно связаны с будущей профессией респондентов.

Решение проблемы повышения мотивации обучающихся мы связываем с комплексным подходом, который должен включать создание специальной системы заданий, воспитательные мероприятия и минимизацию негативной мотивации. Моделирование реальных жизненных ситуаций делает возможным использование языка как средства, а не цели, что соответствует ситуации реального общения. В современной методике широко распространенным является мнение, что роль преподавателя при выполнении коммуникативных задач не столько уменьшается, сколько меняется.

Для повышения мотивации изучения, например, английского языка выполняется следующая работа:

1) обновляется программа преподавания английского языка;

2) подбираются аутентичные тексты с учетом специфики будущей профессиональной деятельности обучающихся (таких иностранных научных журналов, как «New Scientist», «The Economist» и др.);

3) поскольку предпосылкой успешного обучения является общение, подбираются самые современные темы для обсуждения на стабильном высоком уровне. Положительная психологическая атмосфера во многом определяется уровнем коммуникативной культуры преподавателя;

4) обучающимся предлагается профессионально-ориентированная информация для аудирования с англоязычных сайтов в интернете. Кроме аудирования, обучающимся предлагаются научно-популярные фильмы для просмотра с последующим их обсуждением и выполнением упражнений;

5) для изучения грамматики теоретический материал преподносится в наиболее удобной форме – в виде таблиц. Практический материал представлен грамматическими заданиями. Предлагается разнообразный спектр упражнений: упражнения на исправление ошибок (эти упражнения создают позитивную атмосферу, поскольку исправление уже существующих ошибок

не такое волнующее, как их создание), текстовые упражнения на объяснение употребления времен в определенных предложениях, упражнения с пропусками и другие, способствующие развитию умений и навыков грамотного письма и устной речи, необходимых для изучения английского языка. Для обучающихся на третьих и четвертых курсах предлагаются онлайн-тесты TOEFL, которые включают языковые и профильные знания и навыки, необходимые, чтобы подготовиться к сдаче экзамена по английскому языку для поступления в магистратуру.

После проведенных мероприятий при повторном анкетировании получены результаты, свидетельствующие об усилении мотивации, повышении интереса к предмету Английский язык, преодолении психологических барьеров, в частности страха перед общением на иностранном языке и страха перед возможностью сделать ошибку [12-14].

## ВЫВОДЫ

1. С целью повышения мотивации у обучающихся и поддержания ее на высоком методическом уровне необходимо создание атмосферы доверия и требовательности, доброжелательной деловой критики и высокой степени взаимопомощи, а также ответственности.

2. Разнообразие методов преподавания для закрепления материала предполагает творческие задания, деловые и ролевые игры, системный текущий контроль, являющийся не только эффективным средством проверки знаний и навыков, но и не менее действенным способом поддержания мотивации, стимулирования интереса у обучающихся.

3. Развитие у обучающихся устойчивого интереса к иностранному языку – процесс многогранный и длительный. Глубокое овладение иностранными языками поможет будущим выпускникам бакалавриата и магистратуры активно решать задачи критического анализа и синтеза информации, реализации современных технически совершенных технологий по выпуску конкурентоспособных текстильных материалов и из-

делий, использовать техническую документацию в процессе производства текстильных материалов и изделий с учетом требований потребителей.

4. Формирование познавательного интереса у обучающихся к английскому языку как средству мировой коммуникации в условиях повышения роли международного общения, ускорения развития науки и техники позволит эффективно использовать современные информационные технологии и прикладные программные средства при решении задач производства текстильных материалов и изделий.

5. Участие в маркетинговых исследованиях товарных рынков и научных исследованиях зарубежной литературы расширяет возможности поиска способов импортозамещения продукции текстильной и легкой промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ФГОС ВО. Бакалавриат по направлению подготовки 20.03.02 Технологии и проектирование текстильных изделий. – <https://fgos.ru/fgos/fgos-29-03-02-tehnologii-i-proektirovanie-tekstilnyh-izdeliy-963/>

2. ФГОС ВО. Уровень ВО магистратура. Направление подготовки 29.04.02 Технологии и проектирование текстильных изделий. – <https://fgos.ru/fgos/fgos-29-04-02-tehnologii-i-proektirovanie-tekstilnyh-izdeliy-310/>

3. *Абакумова Н.Н., Малкова И.Ю.* Компетентный подход в образовании: организация и диагностика. Томск: ТГУ, 2007. 368 с.

4. *Адольф В., Степанова И.* Проектирование образовательного процесса на основе компетентного подхода // Высшее образование в России. 2008. № 3. С. 158...161.

5. *Антропова Л.Г.* Совершенствование коммуникативной компетентности учителя на основе творческой рефлексии: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Челябинск, 1999. 24 с.

6. *Архипенко М.А.* Педагогическая интеграция как фактор повышения конкурентоспособности будущего специалиста в условиях обучения в высшей школе: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Елец, 2007. 25 с.

7. *Баева О.А.* Ораторское искусство и деловое общение. Минск: Новое знание, 2001. 328 с.

8. *Байденко В.И., Оскарссон Б.* Базовые навыки (ключевые компетенции) как интегрирующий фактор образовательного процесса // Профессиональное образование и личность специалиста. М., 2002. С. 22...46.



9. *Байденко В.И.* Выявление состава компетенций выпускников вузов как необходимый этап проектирования ГОС ВПО нового поколения: методическое пособие. М., 2006. 72 с.

10. *Дулепова Ю.В.* Особенности формирования профессиональных компетенций обучающихся в условиях модульного обучения иностранному языку // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. Новосибирск: НГТУ, 2011. С. 217...219.

11. *Рубинштейн С.Л.* Основы общей психологии. СПб.: Питер, 2000. 712 с.

12. *Гуторова Н.В., Бузькевич А.О., Андросова И.В., Оленева О.С.* Современные подходы к управлению системой организации научной деятельности обучающихся // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3. С. 263...268.

13. *Яшева Г.А., Вайлунова Ю.Г., Вардомацкая Е.Ю.* Региональные университеты в кластерно-сетевом партнерстве: оценка и развитие взаимодействия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 5...16.

14. *Ларионов В.Г., Шереметьева Е.Н., Баринаева Е.П.* Цифровые тренды высшего образования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1. С. 322...329.

#### REFERENCES

1. <https://fgos.ru/fgos/fgos-29-03-02-tehnologii-i-proektirovanie-tekstilnyh-izdeliy-963/>

2. <https://fgos.ru/fgos/fgos-29-04-02-tehnologii-i-proektirovanie-tekstilnyh-izdeliy-310/>

3. *Abakumova N.N., Malkova I.Yu.* Competence-based approach in education: organization and diagnostics. Tomsk: TSU, 2007. 365 p.

4. *Adolf V., Stepanova I.* Design of the educational process based on the competency-based approach // Higher education in Russia. 2008. No. 3. P. 158...161.

5. *Antropova L.G.* Improving the communicative competence of a teacher based on creative reflection: abstract dis. ...cand. ped. sciences. Chelyabinsk, 1999. 24 p.

6. *Archipenko M.A.* Pedagogical integration as a factor in increasing the competitiveness of a future specialist in the conditions of studying in higher school: abstract dis. ... cand. ped. sciences. Yelets, 2007. 25 p.

7. *Baeva O.A.* Oratory and business communication. Minsk: New knowledge, 2001. 328 p.

8. *Bidenko V.I., Oskarsson B.* Basic skills (key competencies) as an integrating factor in the educational process // Professional education and the personality of a specialist. Moscow, 2002. P. 14...32.

9. *Bidenko V.I.* Identification of the composition of competencies of university graduates as a necessary stage in the design of the new generation State Educational Standards of Higher Professional Education: methodological manual. Moscow, 2006. 72 p.

10. *Dulepova Yu.V.* Features of the formation of professional competencies of students in the conditions of modular teaching of a foreign language // Psychology and pedagogy: methods and problems of practical application. Novosibirsk: NSTU, 2011. P. 217...219.

11. *Rubinstein S.L.* Fundamentals of general psychology. St. Petersburg: Peter, 2000. 712 p.

12. *Gutorova N.V., Buzkevich A.O., Androsova I.V., Oleneva O.S.* Modern approaches to managing the system of organization of scientific activity of students // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3. P. 263...268.

13. *Yasheva G.A., Vailunova Yu.G., Vardomat-skaya E.Y.* Regional universities in cluster-network partnership: evaluation and development of interaction // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 6. P. 5...16.

14. *Larionov V.G., Sheremetyeva E.N., Barinaeva E.P.* Digital trends in higher education // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 1. P. 322...329.

Рекомендована кафедрой государственного языка и современных иностранных языков Института технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб, Республика Таджикистан. Поступила 11.10.23.

СОДЕРЖАНИЕ

Обзорные статьи

<i>Федорова Т.А., Гаврилова А.Е.</i> Получение сырьевых ресурсов в переработке текстильных материалов .....	5
<i>Кузьмичев В.Е., Румянцев Е.В., Бузник В.М.</i> Проблемы генерирования виртуальных тканей для реалистичной цифровой одежды .....	11

Экономика, управление и организация производства

<i>Мехтиев Ф.С., Мамедова Х.Ф., Гасанов Б.М., Мамедов Ф.А., Таипулатов С.Ш.</i> Влияние инновационного маркетинга на эффективность производства .....	21
<i>Оборин М.С., Савельев И.И.</i> Инструменты проектного сотрудничества кластеров текстильной промышленности на региональных рынках .....	27
<i>Григорян О.В., Наумова О.А.</i> Исследование тенденций развития предприятий легкой промышленности в условиях геополитической нестабильности .....	35
<i>Ванкевич Е.В.</i> Отраслевая обсерватория рынка труда как организационное решение кадровых проблем (на примере текстильной отрасли Республики Беларусь) .....	42

Материаловедение

<i>Мирзамуратова Р.Ш., Калдыбаев Р.Т., Байрамоглу Е.Е.</i> Крашение натуральной кожи с применением растительного экстракта .....	54
<i>Леденева И.Н., Кирсанова Е.А., Севостьянов П.А., Разумеев К.Э., Белгородский В.С.</i> Компромиссный подход к выбору оптимального технологического режима процесса декорирования изделий из войлока .....	59
<i>Нуриев М.Н., Мирзоев Р.Т.</i> Разработка комплексного показателя качества внешнего вида пряжи ...	63
<i>Слонов А.Л., Мусов И.В., Жанситов А.А., Молоканов Г.О., Ржевская Е.В., Фомичева И.Н., Хаширова С.Ю.</i> Исследование свойств мононити на основе полиэфиркетонкетона .....	71
<i>Алеева С.В., Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Никифорова Е.Н.</i> Влияние структуры пектинов льняного и растительного сырья на формирование гибридных фитосорбентов и кинетику абсорбции алкалоидов .....	80
<i>Ефанов С.А., Кудрявцева Т.Н., Григорьян А.Ю., Кузнецов Д.Н., Климова Л.Г., Кометиани И.Б.</i> Исследование индикаторных свойств и биологической активности целлюлозных перевязочных материалов, окрашенных галохромными азопроизводными стильбенового ряда .....	91
<i>Москалюк О.А., Коптилова А.А., Ким Я.А., Попова Е.Н., Бутузов В.Н.</i> Исследование механических, эксплуатационных и терморегулирующих свойств материала с теплоаккумулирующими микрокапсулами .....	100

Технология текстильных изделий

<i>Корнилова Н.Л., Мирошниченко Д.А., Карева Т.Ю., Мусов И.В., Слонов А.Л., Хаширова С.Ю.</i> Исследование структуры и свойств полимерно-волокнистого препрега, полученного методом ткачества .....	108
<i>Муракаева Т.В., Николаева Е.В.</i> Анализ и разработка способов выработки трикотажных привязанных полотен на плосковязальном оборудовании .....	113

Химия и технология отделки и модификации

<i>Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н.</i> Влияние условий отварки на геометрические и прочностные свойства льняного котонина .....	119
---	-----

<i>Зимнуров А.Р., Гришин Р.А., Козлова О.В., Одинцова О.И., Чешкова А.В.</i> Текстиль с маскирующими свойствами .....	129
<i>Булгаков А.Г., Ерофеев В.Т., Мальцев П.В.</i> Электромагнитные отражающие свойства полиамидного полотна с серебряным напылением .....	134
<i>Чешкова А.В., Топорищева Н.А., Коткова Т.С., Фролова О.А., Кабешов А.А.</i> Практика получения гладкокрашенных хлопкольняных тканей с природно-окрашенным котонином .....	143
<i>Варьян И.А., Тюбаева П.М.</i> Биосовместимость и антимикробная активность волокнистых материалов на основе поли-3-гидроксибутирата, модифицированных геминном .....	150
<i>Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю.</i> Применение теломеров тетрафторэтилена для придания высоких водоотталкивающих свойств полиэфирным тканям .....	154
<i>Дмитриева Е.С., Небеская А.П., Грушевенко Е.А., Анохина Т.С., Волков А.В.</i> Модифицированное нетканое фильтрующее полотно на основе ПЭТФ для очистки воды .....	163

### **Швейное производство**

<i>Лисаневич М.С., Иванов В.В., Волошина Т.А., Коваленко Ю.А., Гаврилова О.Е., Тихонова Н.В.</i> Разработка конструкции спасательного конверта для новорожденных .....	176
<i>Григорьева З.Р., Будеева О.Н., Солодушенкова Т.С., Хамматова Э.А., Ханбекова Н.Д.</i> Дополнение антропометрической базы данных для трехмерного проектирования одежды .....	182

### **Автоматизация и информационные технологии**

<i>Москвин А.Ю., Москвина М.А., Кузьмичев В.Е.</i> Структура программных комплексов для разработки цифровых двойников одежды: правила формирования .....	188
<i>Лапишинов С.Б., Жукова Я.Э., Сперанский С.Н., Лодойн У.</i> Применение методов вероятностного прогнозирования для управления товарными запасами при частых поставках товаров спорадического спроса .....	198

### **Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика**

<i>Римшин В.И., Лукин М.В., Рева Д.В., Рощина С.И.</i> Повышение энергоэффективности вспомогательных зданий текстильной промышленности за счет продления цикла жизнедеятельности сборных композитных стеновых панелей .....	203
<i>Титунин А.А., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В., Румянцева В.Е., Барзыгин Е.А.</i> К вопросу повышения пожарной безопасности объектов при реализации инвестпроектов в текстильной промышленности .....	214

### **Техническая эстетика и дизайн**

<i>Цветкова Н.Н.</i> Узел как художественно-выразительная форма в искусстве, архитектуре и объемно-пространственном текстиле .....	222
<i>Морозова Е.В., Щербакова А.В.</i> Специфика и методы проектирования зарубежных печатных текстильных рисунков с 60-х годов XX века .....	228

### **Композиты на волокнистой основе**

<i>Обверткин И.В., Пасечник К.А., Воронина С.Ю.</i> Исследование процесса ползучести с целью оценки долговечности волокнистого композиционного материала с использованием принципа температурно-временной суперпозиции .....	236
<i>Семенуха О.В., Воронина С.Ю.</i> Создание упрочненного электропроводящего волокнистого нанокомпозиционного материала .....	241
<i>Михайлов М.С., Титова А.П., Карпов Н.С., Хейло С.В., Сариев Э.П.</i> Технологические методы повышения рабочего ресурса многослойной конструкции полимерного шланга повышенной износостойкости... ..	247
<i>Фарух М.А., Киселев М.В., Самойлов Д.А.</i> Экспериментальные исследования защитных свойств композиционных пластин для средств индивидуальной защиты .....	255

<i>Подзорова М.В., Тертышина Ю.В., Монахова Т.В.</i> Фото- и термоокислительная деструкция волокнистых матриц полилактид-натуральный каучук .....	261
<i>Дмитриева Е.С., Небеская А.П., Грушевенко Е.А., Мелехина В.Я., Власова А.В., Анохина Т.С., Волков А.В.</i> Целлюлоза как модифицирующий слой нетканого полотна на основе ПЭТФ для фильтрации водных сред .....	266

### Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

<i>Харисова Ф.И., Дерзаева Г.Г., Дашин А.К., Умаров Х.С.</i> Управление краудфандингом по исламским принципам .....	279
<i>Абдуллозода Х.А., Шохийён Н.Н., Шохийён А.Н., Курбонзода Б.Д., ПЛЕХАНОВ А.Ф., Битус Е.И.</i> Мотивация к изучению иностранного языка для обучающихся по направлению подготовки Технология и проектирование текстильных изделий .....	289

## CONTENTS

### Review articles

<i>Fedorova T.A., Gavrilova A.E.</i> Obtaining of Raw Material Resources in Textile Materials Processing ....	5
<i>Kuzmichev V.E., Rumyantsev E.V., Buznik V.M.</i> Problems of Virtual Fabrics Generating for Realistic Digital Clothing .....	11

### Economics and Production Planning

<i>Mehmiyev F.S., Mammadova H.F., Hasanov B.M., Mamedov F.A., Tashpulatov S.Sh.</i> Influence of Innovative Marketing on Production Efficiency .....	21
<i>Oborin M.S., Savelev I.I.</i> Tools for Project Cooperation of Textile Industry Clusters in Regional Markets .....	27
<i>Grigorian O.V., Naumova O.A.</i> Study of Development Trends of Light Industry Enterprises in Conditions of Geopolitical Instability .....	35
<i>Vankevich E.V.</i> Sectoral Observatory of the Labor Market as an Organizational Solution of Staff Problems (on the Case of the Textile Industry of the Republic of Belarus) .....	42

### Materials

<i>Mirzamuratova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoğlu E.E.</i> Dyeing of Natural Leather with the Use of Plant Extract .....	54
<i>Ledeneva I.N., Kirsanova E.A., Sevostyanov P.A., Razumeev K.E., Belgorodsky V.S.</i> Compromise Approach in Selecting the Optimum Technological Mode for the Decoration Process of Felt Products .....	59
<i>Nuriev M.N., Mirzoev R.T.</i> Design of a Complex Quality Indicator of the Appearance of the Yarn .....	63
<i>Slonov A.L., Musov I.V., Zhansitov A.A., Molokanov G.O., Rzhetskaya E.V., Fomicheva I.N., Khashirova S.Yu.</i> Study of the Properties of Monofilament Based on Polyetherketoneketone .....	71
<i>Aleeva S.V., Koksharov S.A., Kornilova N.L., Nikiforova E.N.</i> Influence of the Structure of Flax and Vegetable Pectins on the Formation of Hybrid Phytosorbents and on the Kinetics of Alkaloid Absorption .....	80
<i>Efanov S.A., Kudryavtsev T.N., Grigoryan A.Yu., Kuznetsov D.N., Klimova L.G., Kometiani I.B.</i> Study of Indicator Properties and Biological Activity of Cellulose Dressing Materials Dyed with Halochrome Azo Derivatives of the Stilbene Series .....	91
<i>Moskalyuk O.A., Kopotilova A.A., Kim Ya.A., Popova E.N., Butuzov V.N.</i> Investigation of Mechanical, Operational and Temperature-Regulating Properties of a Material with Heat-Accumulating Microcapsules ...	100

### Technology of Textile Products

<i>Kornilova N.L., Miroshnichenko D.A., Kareva T.Y., Musov I.V., Slonov A.L., Khashirova S.Yu.</i> Produced by the Weaving Method .....	108
---	-----

<i>Murakaeva T.V., Nikolaeva E.V.</i> Analysis and Development of Methods for Producing Tied Knitted Fabrics on Flat Knitting Mashines .....	113
--	-----

### **Chemistry and Technology of Finishing and Modification**

<i>Lisouski D.L., Yasinskaya N.N.</i> Influence of Boiling Conditions on Geometrical and Strength Properties of Cottonised Flax Fiber .....	119
<i>Zimnurov A.R., Grishin R.A., Kozlova O.V., Odintsova O.I., Cheshkova A.V.</i> Textile with Masking Properties .....	129
<i>Bulgakov A.G., Erofeev V.T., Maltsev P.V.</i> Electromagnetic Reflecting Properties of Silver-Coated Polyamide Canvas .....	134
<i>Cheshkova A.V., Toporishcheva N.A., Kotkova T.S., Frolova O.A., Kabeshov A.A.</i> The Practice of Obtaining Dyed Cotton-Linen Fabrics with Naturally Colored Cotonine .....	143
<i>Varyan I.A., Tyubaeva P.M.</i> Biocompatibility and Antimicrobial Activity of Fibrous Materials Based on Poly-3-Hydroxybutyrate Modified with Hemin .....	150
<i>Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu.</i> Application of Tetrafluoroethylene Telomers to Give High Water Repellent Properties to Polyester Fabrics .....	154
<i>Dmitrieva E.S., Nebesskaya A.P., Grushevenko E.A., Anokhina T.S., Volkov A.V.</i> Modified Non-Woven Filter Fabric Based on Pet for Water Purification .....	163

### **Sewing**

<i>Lisanevich M.S., Ivanov V.V., Voloshina T.A., Kovalenko Yu.A., Gavrilova O.E., Tikhonova N.V.</i> Development of Rescue Envelope Design for Newborns .....	176
<i>Grigorieva Z.R., Budeeva O.N., Solodushenkova T.S., Khammatova E.A., Khanbekova N.D.</i> Addition of The Anthropometric Database for Three-Dimensional Design of Clothing .....	182

### **Automation and Information Technologies**

<i>Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.</i> Structure of Software Program Pipelines for Creating Digital Clothing Twins: Principles of Design .....	188
<i>Lapshinov S.B., Zhukova Y.E., Speransky S.N., Lodoin U.</i> Application of Probabilistic Forecasting Methods for Inventory Management with Frequent Deliveries for Goods of Sporadic Demand .....	198

### **Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering**

<i>Rimshin V.I., Lukin M.V., Reva D.V., Roshchina S.I.</i> Improving the Energy Efficiency of Auxiliary Buildings of the Textile Industry by Extending the Life Cycle of Prefabricated Composite Wall Panels .....	203
<i>Titunin A.A., Vahnina T.N., Susoeva I.V., Rumyantseva V.E., Barzygin E.A.</i> On the Issue of Increasing Fire Safety of Facilities when Implementing Investment Projects in the Textile Industry .....	214

### **Technical Aesthetics and Design**

<i>Tsvetkova N.N.</i> Knot as an Artistic and Expressive Form in Art, Architecture and Three-Dimensional Textiles .....	222
<i>Morozova E.V., Shcherbakova A.V.</i> Specifics and Methods of Designing of Foreign Printed Textile Drawings Since the 1960s of the Twentieth Century .....	228

### **Fiber-based Composites**

<i>Obvertkin I.V., Pasechnik K.A., Voronina S.Yu.</i> Study of Creep Characteristics of Long-Term Fibrous Reinforcing Composite Material Using the Time-Temperature Superposition Principle .....	236
<i>Semenukha O.V., Voronina S.Yu.</i> Creation of Reinforced Strain-Sensitive Fibrous Nanocomposite Material .....	241
<i>Mikhailov M.S., Titova A.P., Karpov N.S., Haylo S.V., Sariev E.P.</i> Technological Methods of Increasing The Working Life of Multilayer Polymer Hose Construction of Increased Wear Resistance .....	247

<i>Faruh M.A., Kiselev M.V., Samoylov D.A.</i> Experimental Studies of Composite Plates Protective Properties for Personal Protection Equipment .....	255
<i>Podzorova M.V., Tertyshnaya Yu.V., Monakhova T.V.</i> Photo- and Thermo-Oxidative Degradation of Fibrous Matrices Polylactide-Natural Rubber .....	260
<i>Dmitrieva E.S., Nebesskaya A.P., Grushevenko E.A., Melekhina V.Ya., Vlasova A.V., Anokhina T.S., Volkov A.V.</i> Cellulose as a Modifying Layer of Petf-Based Non-Woven Fabric for Filtration Aqueous Environments .....	266

#### **Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items**

<i>Kharisova F.I., Derzayeva G.G., Dashin A.K., Umarov H.S.</i> Crowdfunding Management According to Islamic Principles .....	279
<i>Abdullozoda H.A., Shohiyon N.N., Shohiyon A.N., Qurbonzoda B.D., Plekhanov A.F., Bitus E.I.</i> Motivation for Learning a Foreign Language for Students in the Field of Study Technology and Textile Design .....	289