

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

№ 1 (409)
2024

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 LODOIN (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
<http://ttp.ivgpi.ru>

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796.
Сдано в набор 01.02.2024. Подписано в печать 29.02.2024. Формат 60x84 1/4.
Усл. печ. л. 30,23. Заказ 6483. Тираж 400 экз.

«Известия вузов. Технология текстильной промышленности»
Издание Ивановского государственного политехнического университета
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21
E-mail: 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

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

**№ 1 (409)
2024**

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.), 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), UDVALLODOIN (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

<http://ttp.ivgpu.ru>

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796.
Passed for typesetting on 01.02.2024. Signed for printing on 29.02.2024. Format 60×84 1/8.
30.23 conventional sheets. Order 6483. 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

Publishing-printing complex «PresSto»

153025, Ivanovo, Dzerzhinskogo, 39, building 8

Tel. 8-930-330-26-30

E-mail: pressto@mail.ru

УДК 004.942: 614.894.3

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_5

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ:
ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ**

ELECTRONIC TEXTILES: A REVIEW OF MAIN RESEARCH AREAS

И.Н. ТЮРИН¹, В.В. ГЕТМАНЦЕВА¹, Е.Г. АНДРЕЕВА¹, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ^{2,3}

I.N. TYURIN¹, V.V. GETMANTSEVA¹, E.G. ANDREEVA¹, S.SH. TASHPULATOV^{2,3}

¹Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство),

²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
³Джизакский политехнический институт, Узбекистан)

(¹Kosygin University, Russia

²Tashkent Institute of Textile and Apparel Industry, Uzbekistan,

³Jizzakh Polytechnic Institute, Uzbekistan)

E-mail: tyurin-in@rguk.ru, ssht61@mail.ru

Работа посвящена рассмотрению вопросов проектирования электронного текстиля (e-textile) как основы разработки высокофункциональной одежды различного назначения. Современное состояние мировой экономики, широкое внедрение искусственного интеллекта требуют более взвешенного подхода к разработке ассортиментных матриц, выбору материалов и маркетинговым стратегиям продвижения товаров легкой промышленности. Развитие технического прогресса и разнообразие nano- и микроэлектроники дает широкие возможности для использования текстильных материалов в качестве подложки при разработке интеллектуальных сенсорных платформ на текстильной основе. Нами рассмотрены основные направления проектирования электронного текстиля (e-textile), обладающего широким спектром интеллектуальных свойств. Внедрение данных направлений в процесс проектирования новых моделей одежды может оказать существенное влияние на рынок одежды специального, гражданского и двойного назначения.

The work is devoted to consideration of issues of designing electronic textiles (e-textile) as the basis for the development of highly functional clothing for various purposes. The current state of the global economy and the widespread introduction of artificial intelligence require a more balanced approach to the development of

assortment matrices, the selection of materials and marketing strategies for promoting light industry goods. The development of technological progress and the diversity of nano- and microelectronics provide wide opportunities for the use of textile materials as a substrate in developing of textile-based smart sensor platforms. We have reviewed the main directions of designing electronic textiles (e-textile), which has a wide range of intellectual properties. The introduction of these areas into the design process of new clothing models can have a significant impact on the market for special, civilian and dual-use clothing.

Ключевые слова: электронный текстиль, умная одежда, сенсорные платформы на текстильной основе, устойчивая мода.

Keywords: e-textile, smart clothing, textile-based sensor platforms, sustainable fashion.

В настоящее время в области проектирования одежды особое внимание уделяется исследованиям, которые ориентированы на обеспечение высокого уровня качества жизни человека [1, 2].

При этом, принимая во внимание проблемное состояние текстильной и легкой промышленности, существующей в условиях высокой конкуренции с иностранными производителями, для повышения инвестиционной привлекательности российских разработок в области проектирования одежды необходимо предложить инновационные подходы к процессу проектирования изделий широкого спектра применения: от военной отрасли и медицинской сферы до областей повседневного использования [3...5].

К изделиям, наделенным интеллектуальными функциями, обычно применяется термин "умная" одежда.

"Умная" одежда обладает рядом преимуществ и недостатков. К преимуществам обычно относят выполняемые ею мониторинговые и коммуникационные функции, например [6]:

- отслеживание данных о состоянии человека, таких как частота сердечных сокращений, количество пройденных шагов и потраченных за это время калорий;

- мониторинг осанки, характера дыхания и мышечной активности;

- возможность подключения к мобильному приложению или другому устройству, чтобы обеспечить обратную связь в режиме

реального времени и анализ производительности.

Многие варианты смарт-одежды разработаны так, чтобы быть удобными и стильными, поэтому их можно носить весь день, не чувствуя громоздкость изделия или неудобство ношения.

К основным недостаткам "умной" одежды относятся:

- высокая стоимость – она часто дороже, чем традиционная тренировочная одежда;

- необходимость использования батареи или зарядки, что может быть неудобно;

- недостаточная точность некоторых датчиков и функций отслеживания по сравнению с автономными фитнес-трекерами или медицинскими устройствами;

- недоступность некоторых вариантов смарт-одежды в широком диапазоне размеров и стилей.

В разработке "умной" одежды и текстиля ряд исследователей [7...9] выделяют два основных направления: *электронный текстиль* и *биотекстиль*. Принцип действия электронного текстиля (e-textile) основан на применении физических, химических, электрофизиологических сенсорных функций, а также электронных дисплеев.

Физические сенсорные функции основаны на детекции продольных (растяжение полотна) и поперечных (давление по нормали) деформаций в структуре текстильного полотна. Корейские ученые из *School of Electrical and Electronic Engineering* [10] представили датчики продольных деформа-

ций волокна с высокой степенью растяжения путем внедрения наночастиц Ag в растяжимое волокно с мультифиламентной структурой. Разработанные учеными волокнистые тензодатчики одновременно демонстрируют сверхвысокие коэффициенты тензочувствительности ($\sim 9,3 \times 10^5$ и ~ 659 при первом растяжении и последующем соответственно), очень широкий диапазон растяжения (450 и 200 % при первом и последующем растяжении соответственно) и высокую износостойкость (более 10 000 циклов растяжения).

В работах [11...13] исследуются вопросы использования деформаций электропроводящего текстиля для мониторинга многочисленных движений тела человека. Учеными разработан ряд тензодатчиков из полимерных нанокомпозитов, состоящих из полиуретановой основы и графитсодержащего наполнителя, предназначенных для распознавания биомеханических фазовых схем верхних конечностей [14]: угла пальцев, запястий и локтевого сустава. По итогам исследований определены существенные недостатки данной технологии: низкая точность и недолговечность, сложность калибровки, наличие шумов (помех) электрического сигнала, высокая стоимость, проблемы совместимости с управляющим микроконтроллером. Решение данных проблем поможет существенно ускорить внедрение тензодатчиков на текстильной основе, обладающих высоким уровнем точности и широким спектром чувствительности, в производство.

В другой своей работе научный коллектив уже представил разработки по измерению поперечных деформаций полотен (давления) с использованием волокон с высокой проводимостью, покрытых диэлектрическими резиновыми материалами. Предложенный датчик давления можно применять для изготовления "умных" перчаток и одежды, которые могут управлять машинами по беспроводной сети в качестве человеко-машинных интерфейсов [15].

Китайские ученые из Chongqing University и Beijing Institute of Nanoenergy and Nanosystems [16] представили образцы "умных" текстильных материалов, основанных

на массиве трибоэлектрических полностью текстильных датчиков (TATSA) с высокой чувствительностью к давлению ($7,84 \text{ мВ Па}^{-1}$), малым временем отклика (20 мс), стабильностью ($> 100\,000$ циклов), широким диапазоном рабочих частот (до 20 Гц) и возможностью машинной стирки (> 40 стирок) (рис. 1).



Рис. 1

Произведенные в лабораторных условиях TATSA внедрены в конструкцию опытного образца одежды для одновременного мониторинга пульса и респираторных сигналов. Данная система открывает возможности долгосрочной и неинвазивной оценки сердечно-сосудистой и дыхательной систем для профилактики и лечения некоторых хронических заболеваний, синдрома апноэ сна.

Химические сенсорные функции основаны на немедленном обнаружении опасных биологических и химических веществ в окружающей среде [17]. При этом выделяют разработки по наделению "умного" текстиля биомаркерной функцией или функцией по обнаружению токсичных химических веществ. Для выделения биомаркеров (например, глюкозы [18...20], лактата [21, 22], pH [23, 24], гемоглобина) из пота используют методы электрохимического зондирования (например, амперометрию, потенциометрию, вольтамперометрию) либо зондирования с помощью органических электрохимических транзисторов (ОЭТ).

Ученые Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина [25] изобрели текстильные индикаторы, которые меняют цвет при высоких концентрациях кислотных или щелочных паров в воздухе. Такие датчики можно использовать при изготовлении спецодежды и средств индивидуальной защиты для предотвращения химических ожогов.

Группа исследователей из *Fudan University* [26] разработала функционализированные многостенные углеродные нанотрубки, скрученные в спиральные пучки волокон (рис. 2), которые имитируют иерархическую структуру мышц и могут отслеживать биомаркеры множества заболеваний. Такие пучки волокон имеют низкую жесткость на изгиб и демонстрируют сверхнизкое напряжение при сжатии. По итогам проведенных исследований разработанных образцов нанотрубок подтверждена универсальность пучков спиральных волокон в качестве электрохимических сенсоров.

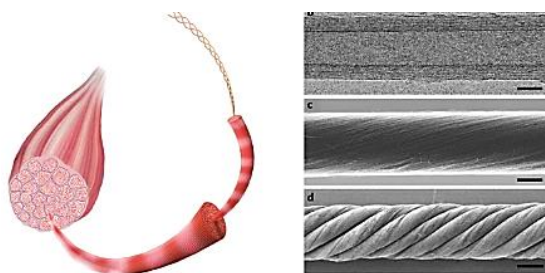


Рис. 2

Разработки итальянских ученых из *Università di Bologna* [27] предназначены для селективного обнаружения дофамина в присутствии мешающих соединений (аскорбиновой кислоты и мочевой кислоты) и заключаются в применении полностью органического электрохимического транзистора.

Имеется целый ряд разработок в области "умного" текстиля на основе электрофизиологической сенсорной функции. Электрофизиологические сигналы, такие как электрокардиограмма (ЭКГ), электромиограмма (ЭМГ) и электроэнцефалограмма (ЭЭГ), являются результатом измеримой разницы биопотенциалов в результате поляризации ионных каналов в клеточной мембране во время потребления энергии (т. е. клеточной поляризации). Электрофизиологические сигналы могут быть захвачены на коже неинвазивным способом и использованы во многих приложениях, таких как ежедневный мониторинг здоровья, реабилитация после травм, протезирование и интерфейсы мозг-компьютер.

В области создания "умных" текстильных материалов с функцией ЭКГ ученые из *Rice University* [28] создали сшиваемые электроды и провода для передачи сигналов из нитей углеродных нанотрубок (рис. 3). Эти нити мягкие, как стандартные швейные нитки, но имеют проводимость на уровне металла и низкий импеданс на границе раздела с кожей. Их также можно использовать в качестве проводов для передачи сигналов к другим частям одежды [29].

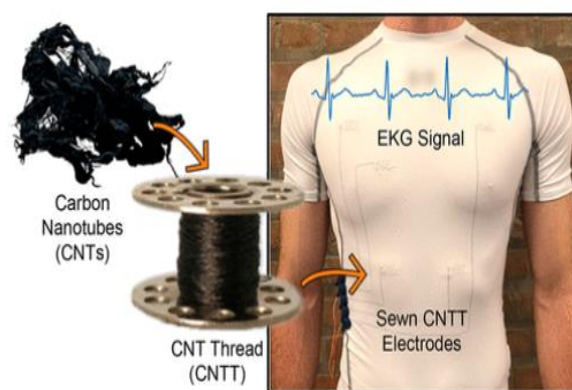


Рис. 3

Работы, проводимые японскими учеными из *University of Tokyo* [30], посвящены разработке токопроводящих чернил, наносимых на текстильные подложки. Проблемой является растрескивание чернил из-за деформируемой и пористой структуры текстиля. Ученые разработали механически и электрически прочную проводку, контролируя проникновение чернил в структуру ткани путем регулировки растворителя чернил (рис. 4).

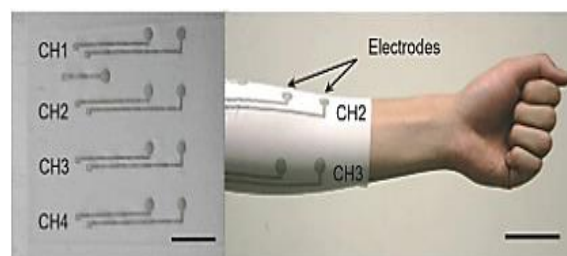


Рис. 4

Поверхностное сопротивление разработанного материала изначально составляет 0,06 Ом и увеличивается только в 70 раз после растяжения до 450% деформации.

Наконец, продемонстрирован прототип одежды с нанесенным четырехканальным контуром гибкой печатной платы для мониторинга электромиограммы [31].

Совершенно новое применение электронного текстиля представлено в работах [32...34], посвященных разработке новых интеллектуальных материалов с *электрофизиологическими функциями*. Сочетая традиционные методы вязания с программированием искусственных мышечных волокон, ученые создали динамический текстиль (рис. 5), приводимый в движение жидкостью и позволяющий воспроизводить множество мультимодальных движений: удлинение (до 65%), расширение площади (до 108%), радиальное расширение (до 25%) и изгиб.

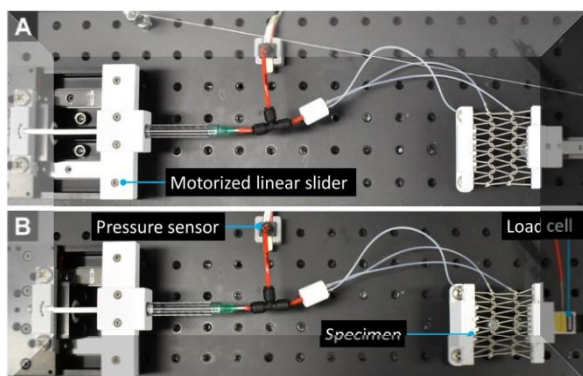


Рис. 5

Канадские ученые из University of Alberta [35] разработали двухслойные покрытия для электронного текстиля путем контролируемого проникновения композиционных чернил из частиц серебра/фторполимера в пористую ткань. Чернила образуют нанопокрывтие волокон текстильной подложки, что благоприятно сказывается на механических и электрических свойствах электронного текстиля. Печатный электронный текстиль имеет проводимость $\approx 3200 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$, при этом 1000 циклов 30%-ного одноосного растяжения вызывают увеличение сопротивления только в ≈ 5 раз, что является приемлемым для многих областей применения. Контроль глубины проникновения позволяет создать двухслойную конструкцию электронного текстиля, в которой чувствительные электроды и про-

водящие дорожки напечатаны на противоположных сторонах подложки. С помощью специально разработанных электронных схем учеными была продемонстрирована система поверхностной электромиографии с беспроводной передачей данных. Кроме того, установлено, что пластырь из электронной ткани собирает электроэнцефалограммы с качеством сигнала, сравнимым с коммерческими гелевыми электродами.

В области гибких дисплеев с применением текстильных технологий известен ряд работ. Так, южнокорейскими исследователями из *Korea Advanced Institute of Science and Technology* [36] разработаны тканые и высокоэффективные органические светоизлучающие диоды (оптоволоконные OLED). Значения, полученные для волоконных OLED, включая эффективность и срок службы, близки к значениям для обычных аналогов на основе стекла. Волоконные OLED выдерживают растяжение до 4,3 % при радиусе 3,5 мм, и подтверждено, что их можно вплетать в текстиль, трикотаж, а следовательно, и в одежду (рис. 6).

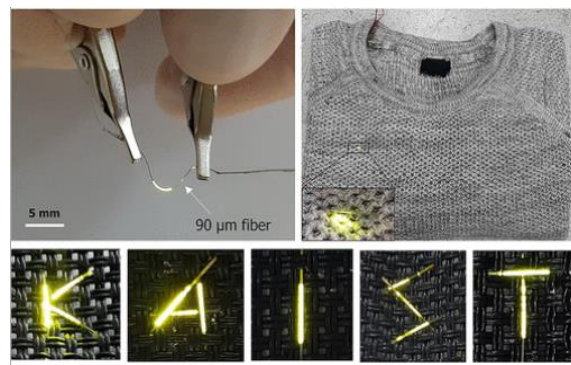


Рис. 6

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного анализа демонстрируют многообещающие перспективы применения текстильных датчиков и электронной ткани с тактильными, визуальными и прочими органолептическими ощущениями, присущими стандартной одежде и текстилю.

Среди основных областей исследований и разработок электронного текстиля (*e-textile*) можно выделить следующие:

- проектирование электронного текстиля, основанного на применении физических сенсорных функций: растяжения, деформации, изгиба токопроводящего текстильного полотна;

- проектирование электронного текстиля, основанного на применении химических сенсорных функций: обнаружении токсичных химических соединений в окружающей среде, детекции различных биомаркеров, позволяющих на ранней стадии обнаружить изменение состояния здоровья человека;

- проектирование электронного текстиля, основанного на применении электрофизиологических сенсорных функций, целью которого является не только непрерывный мониторинг состояния здоровья человека, но и использование образцов электронного текстиля в качестве комплексов, заменяющих биологические ткани человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Balkis M. et al.* Design for health and wellbeing: innovative medical garment design // *Advances in Design, Music and Arts*. 2020. P. 343...353. – DOI: 10.1007/978-3-030-55700-3_24.

2. *Тюрин И.Н., Яковлев А.М., Андреева Е.Г., Ташпулатов С.Ш., Белгородский В.С.* Численное моделирование компрессионного воздействия фильтрующей полумаски на мягкие ткани человека // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 6 (390). С. 179...183.

3. *Tyurin I., Tashpulatov S., Belgorodsky V., Andreeva E.* E3S Web Conf. 2023. 371, 02055. – DOI: 10.1051/e3sconf/202337102055.

4. *Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Ташпулатов С.Ш. и др.* Численное моделирование давления компрессионной оболочки спортивного назначения // *Химические волокна*. 2023. № 5. С. 58...60. – <https://doi.org/10.1007/s10692-023-10403-z>

5. *Тюрин И.Н., Зуфарова З.У., Ташпулатов С.Ш. и др.* Вычислительное моделирование и анализ изображений компрессионных свойств неопрена гетерогенной структуры // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2023. № 5(407). С. 175...183. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_175. – EDN FTLSUD.

6. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* *Fibre Chemistry* 2019. 51(2). P. 139...146.

7. *Cho S., Chang T., Yu T., Lee C.H.* *Smart Electronic Textiles for Wearable Sensing and Display*. *Biosensors* 2022, 12, 222. – <https://doi.org/10.3390/bios12040222>

8. *Heo J.S., Eom J., Kim Y.-H., Park S.K.* Recent Progress of Textile-Based Wearable Electronics: A Comprehensive Review of Materials, Devices, and Applications. *Small* 2017, 14, 1703034.

9. *Wang L., Fu X., He J., Shi X., Chen T., Chen P., Wang B., Peng H.* Application Challenges in Fiber and Textile Electronics. *Adv. Mater.* 2019, 32, 1901971.

10. *Lee J., Shin S., Lee S., Song J., Kang S., Han H., Kim S., Kim S., Seo J., Kim D. et al.* Highly Sensitive Multifilament Fiber Strain Sensors with Ultrabroad Sensing Range for Textile Electronics. *ACS Nano* 2018, 12, 4259–4268.

11. *Liza L. et al.* The technology of wearable flexible textile-based strain sensors for monitoring multiple human motions: construction, patterning and performance. *Sens. Diagn.* 2023, 2, 1414-1436

12. *Alam T. et al.* Smart-textile strain sensor for human joint monitoring, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 341, 2022, 113587. – <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113587>.

13. *Raji R.K., Miao X., Wan A., Zhang S., Li Y., Frimpong C.* Progress on the Fabrication of Smart Textiles Based on Soft Strain Sensors. *AATCC Journal of Research*. 2019; 6(6): 1-12. – doi:10.14504/ajr.6.6.1.

14. *Tyurin I.N., Tashpulatov S.Sh., Akhmedova Z.M.* Biomechanics of the human upper limb for sustainable approach to design smart clothing. *E3S Web Conf.*, 460 (2023) 10050. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346010050>.

15. *Lee J., Kwon H., Seo J., Shin S., Koo J.H., Pang C., Son S., Kim J.H., Jang Y.H., Kim D.E. et al.* Conductive Fiber-Based Ultrasensitive Textile Pressure Sensor for Wearable Electronics. *Adv. Mater.* 2015, 27, 2433–2439.

16. *Fan W., He Q., Meng K., Tan X., Zhou Z., Zhang G., Yang J., Wang Z.L.* Machine-Knitted Washable Sensor Array Textile for Precise Epidermal Physiological Signal Monitoring. *Sci. Adv.* 2020, 6, e2840.

17. *Tessarolo M., Gualandi I., Fraboni B.* Recent Progress in Wearable Fully Textile Chemical Sensors. *Adv. Mater. Technol.* 2018, 3, 1700310.

18. *Piper A., Månsson I.Ö., Khaliliazar S., Landin R., Hamed M.M.* A Disposable, Wearable, Flexible, Stitched Textile Electrochemical Biosensing Platform. *Biosens. Bioelectron.* 2021, 194, 113604.

19. *Liu X., Lillehoj P.B.* Embroidered Electrochemical Sensors for Biomolecular Detection. *Lab Chip* 2016, 16, 2093–2098.

20. *Xu W., Lu J., Huo W., Li J., Wang X., Zhang C., Gu X., Hu C.* Direct Growth of CuCo₂S₄ Nanosheets on Carbon Fiber Textile with Enhanced Electrochemical Pseudocapacitive Properties and Electrocatalytic Properties Towards Glucose Oxidation. *Nanoscale* 2018, 10, 14304–14313.

21. *Wang R., Zhai Q., An T., Gong S., Cheng W.* Stretchable Gold Fiber-Based Wearable Textile Electrochemical Biosensor for Lactate Monitoring in Sweat. *Talanta* 2021, 222, 121484.

22. *Yin L., Kim K.N., Lv J., Tehrani F., Li M., Lin Z., Moon J.-M., Ma J., Yu J., Xu S. et al.* A Self-Sustainable

Wearable Multi-Modular E-Textile Bioenergy Microgrid System. *Nat. Commun.* 2021, 12, 1542.

23. *Possanzini L., Decataldo F., Mariani F., Gualandi I., Tessarolo M., Scavetta E., Fraboni B.* Textile Sensors Platform for the Selective and Simultaneous Detection of Chloride Ion and pH in Sweat. *Sci. Rep.* 2020, 10, 17180.

24. *Мелешенкова В.В., Кузнецов Д.Н.* Текстильные PH-индуцируемые датчики как индикаторные элементы в средствах индивидуальной защиты человека // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2022). Иваново: ИВГПУ, 2022. С. 254...257. – DOI 10.47367/2413-6514_2022_1_254. – EDN CИHVHE.

25. *Мелешенкова В.В., Кузнецов Д.Н., Караваева Е.Б., Кобраков К.И.* Новые азокрасители на основе 2-метилрезорцина для поликапроамидных волокон // Химическая технология. 2023. Т. 24, № 5. С. 165-170. – DOI 10.31044/1684-5811-2023-24-5-165-170. – EDN AXRDEG.

26. *Wang L., Xie S., Wang Z., Liu F., Yang Y., Tang C., Wu X., Liu P., Li Y., Saiyin H. et al.* Functionalized Helical Fibre Bundles of Carbon Nanotubes as Electrochemical Sensors for Long-Term in Vivo Monitoring of Multiple Disease Biomarkers. *Nat. Biomed. Eng.* 2020, 4, 159–171.

27. *Gualandi I., Marzocchi M., Achilli A., Cavedale D., Bonfiglio A., Fraboni B.* Textile Organic Electrochemical Transistors as a Platform for Wearable Biosensors. *Sci. Rep.* 2016, 6, 35419.

28. *Taylor L.W., Williams S.M., Yan J.S., Dewey O.S., Vitale F., Pasquali M.* Washable, Sewable, All-Carbon Electrodes and Signal Wires for Electronic Clothing. *Nano Lett.* 2021, 21, 7093–7099.

29. *Jin H., Matsuhisa N., Lee S., Abbas M., Yokota T., Someya T.* Enhancing the Performance of Stretchable Conductors for E-Textiles by Controlled Ink Permeation. *Adv. Mater.* 2017, 29, 201605848.

30. *Jin H., Matsuhisa N., Lee S., Abbas M., Yokota T., Someya T.* Enhancing the Performance of Stretchable Conductors for E-Textiles by Controlled Ink Permeation. *Adv. Mater.* 2017, 29, 1605848.

31. *Phan P.T., Thai M.T., Hoang T.T. et al.* Smart textiles using fluid-driven artificial muscle fibers. *Sci Rep* 12, 11067 (2022). – <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15369-2>

32. *Phan P.T. et al.* Twisting and braiding fluid-driven soft artificial muscle fibers for robotic applications. *Soft Robot.* 2021.

33. *Xiong J., Chen J. & Lee P.S.* Functional fibers and fabrics for soft robotics, wearables, and human-robot interface. *Adv. Mater.* 2021. 33, e2002640. – <https://doi.org/10.1002/adma.202002640>

34. *Kanakaraj P. & Rajagopalan Ramachandran.* Active knit fabrics - functional needs of sportswear application. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management.* 2015

35. *La T.-G., Qiu S., Scott D.K., Bakhtiari R., Kuziek J.W.P., Mathewson K.E., Rieger J., Chung H.-J.* Two-Layered and Stretchable e-Textile Patches for

Wearable Healthcare Electronics. *Adv. Healthcare Mater.* 2018, 7, 1801033.

36. *Kwon S., Kim H., Choi S., Jeong E.G., Kim D., Lee S., Lee H.S., Seo Y.C., Choi K.C.* Weavable and Highly Efficient Organic Light-Emitting Fibers for Wearable Electronics: A Scalable, Low-Temperature Process. *Nano Lett.* 2018, 18, 347–356.

REFERENCES

1. *Balkis M. et al.* Design for health and wellbeing: innovative medical garment design // *Advances in Design, Music and Arts, 7th Meeting of Research in Music, Arts and Design, EIMAD 2020, May 14–15, 2020* (pp.343-353). – DOI:10.1007/978-3-030-55700-3_24.

2. *Tyurin I.N., Yakovlev A.M., Andreeva E.G., Tashpulatov S.S.H., Belgorodsky V.S.* Numerical simulation of the compression influence of the filtering half mask on the soft human tissues // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2020, (6), pp. 179...183.

3. *Tyurin I., Tashpulatov S., Belgorodsky V., Andreeva E.* E3S Web Conf. 371, 02055 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202337102055.

4. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Tashpulatov S.S. et al.* Numerical Simulation of the Pressure of a Compression Shell for Sports Purposes. *Fiber Chem* (2023). – <https://doi.org/10.1007/s10692-023-10403-z>

5. *Tyurjn I.N., Zufarova Z.U., Tashpulatov S.Sh. et al.* Numerical simulation and image analysis of compression properties of heterogeneous neoprene material // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2023, No. 5(407). pp. 175...183. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_175. – EDN FTLSUD.

6. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* *Fiber Chemistry* 51(2), 139-146 (2019). – DOI: 10.1007/s10692-018-9918-y

7. *Cho S., Chang T., Yu T., Lee C.H.* Smart Electronic Textiles for Wearable Sensing and Display. *Biosensors* 2022, 12, 222. – <https://doi.org/10.3390/bios12040222>

8. *Heo J.S., Eom J., Kim Y.-H., Park S.K.* Recent Progress of Textile-Based Wearable Electronics: A Comprehensive Review of Materials, Devices, and Applications. *Small* 2017, 14, 1703034.

9. *Wang L., Fu X., He J., Shi X., Chen T., Chen P., Wang B., Peng H.* Application Challenges in Fiber and Textile Electronics. *Adv. Mater.* 2019, 32, 1901971.

10. *Lee J., Shin S., Lee S., Song J., Kang S., Han H., Kim S., Kim S., Seo J., Kim D. et al.* Highly Sensitive Multifilament Fiber Strain Sensors with Ultrabroad Sensing Range for Textile Electronics. *ACS Nano* 2018, 12, 4259–4268.

11. *Liza L. et al.* The technology of wearable flexible textile-based strain sensors for monitoring multiple human motions: construction, patterning and performance. *Sens. Diagn.*, 2023,2, 1414-1436

12. *Alam T. et al.* Smart-textile strain sensor for human joint monitoring, *Sensors and Actuators A: Physi-*

cal, Volume 341, 2022, 113587, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113587>.

13. Raji R.K., Miao X., Wan A., Zhang S., Li Y., Frimpong C. Progress on the Fabrication of Smart Textiles Based on Soft Strain Sensors. AATCC Journal of Research. 2019;6(6):1-12. doi:10.14504/ajr.6.6.1.

14. Tyurin I.N., Tashpulatov S.Sh., Akhmedova Z.M. Biomechanics of the human upper limb for sustainable approach to design smart clothing. E3S Web Conf., 460 (2023) 10050. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346010050>

15. Lee J., Kwon H., Seo J., Shin S., Koo J.H., Pang C., Son S., Kim J.H., Jang Y.H., Kim D.E. et al. Conductive Fiber-Based Ultrasensitive Textile Pressure Sensor for Wearable Electronics. Adv. Mater. 2015, 27, 2433–2439.

16. Fan W., He Q., Meng K., Tan X., Zhou Z., Zhang G., Yang J., Wang Z.L. Machine-Knitted Washable Sensor Array Textile for Precise Epidermal Physiological Signal Monitoring. Sci. Adv. 2020, 6, e2840.

17. Tessarolo M., Gualandi I., Fraboni B. Recent Progress in Wearable Fully Textile Chemical Sensors. Adv. Mater. Technol. 2018, 3, 1700310.

18. Piper A., Månsson I.Ö., Khaliliazar S., Landin R., Hamed M.M. A Disposable, Wearable, Flexible, Stitched Textile Electrochemical Biosensing Platform. Biosens. Bioelectron. 2021, 194, 113604.

19. Liu X., Lillehoj P.B. Embroidered Electrochemical Sensors for Biomolecular Detection. Lab Chip 2016, 16, 2093–2098.

20. Xu W., Lu J., Huo W., Li J., Wang X., Zhang C., Gu X., Hu C. Direct Growth of CuCo₂S₄ Nanosheets on Carbon Fiber Textiles with Enhanced Electrochemical Pseudocapacitive Properties and Electrocatalytic Properties Towards Glucose Oxidation. Nanoscale 2018, 10, 14304–14313.

21. Wang R., Zhai Q., An T., Gong S., Cheng W. Stretchable Gold Fiber-Based Wearable Textile Electrochemical Biosensor for Lactate Monitoring in Sweat. Talanta 2021, 222, 121484.

22. Yin L., Kim K.N., Lv J., Tehrani F., Li M., Lin Z., Moon J.-M., Ma J., Yu J., Xu S. et al. A Self-Sustainable Wearable Multi-Modular E-Textile Bioenergy Microgrid System. Nat. Commun. 2021, 12, 1542.

23. Possanzini L., Decataldo F., Mariani F., Gualandi I., Tessarolo M., Scavetta E., Fraboni B. Textile Sensors Platform for the Selective and Simultaneous Detection of Chloride Ion and pH in Sweat. Sci. Rep. 2020, 10, 17180.

24. Meleshenkova V.V., Kuznetsov D.N. Textile PH-induced sensors as indicator elements in personal protective equipment // Physics fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (SMARTEX-2022). Ivanovo: IVGPU, 2022. P. 254..257. – DOI 10.47367/2413-6514_2022_1_254. – EDN CIHVHE.

25. Meleshenkova V.V., Kuznetsov D.N., Karavaeva E.B., Kobrakov K.I. New azo dyes based on 2-methylresorcinol for polycapraamide fibers // Chemical technology. 2023. T. 24, No. 5. P. 165...170. – DOI 10.31044/1684-5811-2023-24-5-165-170. – EDN AXRDEG.

26. Wang L., Xie S., Wang Z., Liu F., Yang Y., Tang C., Wu X., Liu P., Li Y., Saiyin H. et al. Functionalized Helical Fiber Bundles of Carbon Nanotubes as Electrochemical Sensors for Long-Term in Vivo Monitoring of Multiple Disease Biomarkers. Nat. Biomed. Eng. 2020, 4, 159–171.

27. Gualandi I., Marzocchi M., Achilli A., Cavedale D., Bonfiglio A., Fraboni B. Textile Organic Electrochemical Transistors as a Platform for Wearable Biosensors. Sci. Rep. 2016, 6, 35419.

28. Taylor L.W., Williams S.M., Yan J.S., Dewey O.S., Vitale F., Pasquali M. Washable, Sewable, All-Carbon Electrodes and Signal Wires for Electronic Clothing. Nano Lett. 2021, 21, 7093–7099.

29. Jin H., Matsuhisa N., Lee S., Abbas M., Yokota T., Someya T. Enhancing the Performance of Stretchable Conductors for E-Textiles by Controlled Ink Permeation. Adv. Mater. 2017, 29, 201605848.

30. Jin H., Matsuhisa N., Lee S., Abbas M., Yokota T., Someya T. Enhancing the Performance of Stretchable Conductors for E-Textiles by Controlled Ink Permeation. Adv. Mater. 2017, 29, 1605848.

31. Phan P.T., Thai M.T., Hoang T.T. et al. Smart textiles using fluid-driven artificial muscle fibers. Sci Rep 12, 11067 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15369-2>

32. Phan P.T. et al. Twisting and braiding fluid-driven soft artificial muscle fibers for robotic applications. Soft Robot. (2021).

33. Xiong J., Chen J. & Lee P.S. Functional fibers and fabrics for soft robotics, wearables, and human–robot interface. Adv. Mater. 33, e2002640. <https://doi.org/10.1002/adma.202002640> (2021).

34. Kanakaraj P. & Rajagopalan Ramachandran. (2015). Active knit fabrics - functional needs of sportswear application. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management.

35. La T.-G., Qiu S., Scott D.K., Bakhtiari R., Kuziek J.W.P., Mathewson K.E., Rieger J., Chung H.-J. Two-Layered and Stretchable e-Textile Patches for Wearable Healthcare Electronics. Adv. Healthcare Mater. 2018, 7, 1801033.

36. Kwon S., Kim H., Choi S., Jeong E.G., Kim D., Lee S., Lee H.S., Seo Y.C., Choi K.C. Weavable and Highly Efficient Organic Light-Emitting Fibers for Wearable Electronics: A Scalable, Low-Temperature Process. Nano Lett. 2018, 18, 347–356.

Рекомендована кафедрой дизайна костюма ТИТЛП. Поступила 23.07.23.

УДК 342.5, 35.088.6, 371.38
DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_13

**ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ
В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**MANAGEMENT FEATURES OF LOGISTICS RISKS
IN TEXTILE INDUSTRY**

Д.И. КУЗЬМИН¹, И.И. САВЕЛЬЕВ², А.А. АШИН¹, А.Г. АННИН¹

D.I. KUZMIN¹, I.I. SAVELEV², A.A. ASHIN¹, A.G. ANNIN¹

*(¹Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации (Владимирский филиал),*

²Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

(¹The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vladimir branch),

²Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs)

E-mail: kuzmin_dmitriy@mail.ru, sii-33@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы эффективности логистической системы текстильной промышленности, которая в значительной степени определяется способностью минимизировать непредсказуемость и возможность наступления событий с негативными последствиями, обусловленными определенными действиями или решениями, которые будут иметь место в будущем. В итоге можно утверждать, что риск является одним из ключевых факторов, влияющих на результирующие показатели производственно-хозяйственной деятельности предприятия текстильной промышленности. Нестабильная политическая и экономическая ситуация, интенсификация применения модернизированных технологий менеджмента требуют от современных предприятий текстильной отрасли использования новейших методов управления, которые способны адаптироваться к неопределенности.

The article considers the effectiveness logistics system effectiveness of textile industry, which is largely determined by the ability to minimize the unpredictability and the possibility of events with negative consequences due to certain actions or decisions that will take place in the future. As a result, it can be argued that the risk is one of the key factors affecting the resulting indicators of the production and economic activities of the textile industry enterprise. The unstable political and economic situation in the country, the intensification of the use of modernized management technologies requires modern textile enterprises to change vectors, focusing on the use of the latest management methods that are able to adapt to the situation of uncertainty.

Ключевые слова: логистические риски, риск-менеджмент, текстильная промышленность.

Keywords: logistics risks, risk management, textile industry.

Современное состояние хозяйственного взаимодействия между предприятиями текстильной отрасли в значительной степени зависит от эффективности функционирования их логистических систем, основной целью которых является надлежащее управление материальными и сопутствующими им потоками благодаря четкой слаженности действий специалистов различных служб, участвующих в управлении.

Предприятия текстильной промышленности в процессе функционирования поддерживают тесные связи с внешней средой, которая содержит множество элементов [5]. Такие элементы со временем могут изменять свое состояние: появляться новые, другие могут исчезать, некоторые модифицируются, приобретают другие формы. Их влияние также может быть разным: так, одни из них отвечают целям предприятия и могут положительно влиять на его функционирование, другие же, напротив, могут противоречить и вызывать изменение ситуации в сторону деградации. Ситуация усугубляется тем, что спрогнозировать их характер довольно часто бывает проблематично. Эти и другие условия провоцируют возникновение неопределенностей и рисков как для самого предприятия, так и его логистической системы. Каждое из состояний, в котором может находиться само предприятие и его логистическая система, по-разному влияет на его работу, соответственно изменяя и характер управленческих решений. Как результат, возникает необходимость управления рисками логистической системы предприятий текстильной отрасли. К каждому из этих состояний следует разработать четкий механизм управления, учитывающий факторы влияния на логистическую систему (факторы макро- и микросреды), стратегию предприятия, ситуацию на рынке и другие условия.

При выборе соответствующей системы механизмов и инструментария воздействия

возможно снизить риск и избежать ситуации неопределенности для обеспечения эффективности логистической системы предприятия текстильной промышленности.

Одним из основных понятий, часто отождествляемых с риском, является понятие "неопределенность" – условие или объективная реальность, следствием которой является риск. На сегодняшний день существует широкий круг определений категории "неопределенность", нами выделены и обобщены основные из них:

- характеристика, обусловленная недостаточностью информации о среде и факторах влияния на результат в процессе принятия решений;

- понятие, характеризующее невозможность получения точного результата в будущем [4];

- неполное, неточное представление о будущем;

- явление и процесс [2], сведения о которых необходимы для принятия управленческих решений;

- состояние, в котором находится объект в ситуации недостаточности информации, сведений об условиях, в которых происходит его деятельность.

Неопределенность – это понятие, сопровождающее процессы функционирования и развития логистической системы, ведь последним свойственна зависимость от количества элементов на входе в систему, то есть от количества производственных и коммерческих структур, оказывающих влияние на логистику предприятия текстильной промышленности, и количества элементов на выходе, то есть от полученных результатов. Чем больше количество элементов входа-выхода, тем сложнее логистическая система, тем больше степень ее неопределенности.

Категории "неопределенность" и "риск" следует рассматривать в причинно-следственной связи как явление и процессы, со-

проводящие деятельность любого субъекта хозяйствования и особенно логистической системы, как совокупности подсистем, находящихся в тесной взаимосвязи друг с другом,

Главной причиной возникновения риска, характерной для предприятий текстильной промышленности, является неопределенность, обусловленная изменчивостью и нестабильностью экономических процессов, ограниченностью информации, отсутствием четко установленных целей и задач. Любые системы, а особенно логистические, по своей природе сложны, характеризуются высокой динамичностью и неопределенностью. Риски имеют место в процессе разработки, принятия управленческих решений и имеют двоякую природу: одни из них положительно влияют на работу предприятия текстильной промышленности (стимуляторы), стимулируя их к развитию, другие же наоборот – оказывают негативное влияние, заставляя работать в условиях неопределенности (дестимуляторы). Такие риски могут возникать вследствие:

- недостаточной осведомленности о потребителях, конкурентах и рынке в целом;
- отсутствия долгосрочных планов развития и неверного определения приоритетов в деятельности;
- применения недейственных/некачественных методов управления и т.д.

Необходима своевременная идентификация рисков, классификация для дальнейшей разработки направлений снижения их негативного влияния или, по возможности, полной нейтрализации. Исследуя генез риска, понятия, с которыми отождествляют риск, следует отметить, что в менеджменте, бизнесе и быту понятия, ассоциируемые с риском, очень расплывчатые и неточные [6].

Таким образом, анализ содержания понятия "риск" позволяет утверждать, что его формулировки тяготеют в большей степени к следственному характеру данного понятия. То есть рассматривается не только риск как осознанная возможность опасности, но и его последствия негативного характера. Подходы к определению категории "риск" целесообразно объединить в следующие группы:

1. Риск как возможная опасность, негативно влияющая на работу предприятия и его логистической системы.

2. Определение не только категории "риск", но и методов его количественной оценки.

3. Риск отождествляют с событиями, которые обуславливают или могут вызвать наступление неблагоприятных событий.

4. Сущность понятия определяется в процессе управления риском.

Учесть все факторы, обуславливающие ситуацию неопределенности и риска, невозможно, но вполне реально выделить среди них основные и те факторы, которые характеризуются высокой вероятностью наступления и могут оказать значительное негативное влияние на эффективность и надежность логистических систем.

Хотелось также отметить, что в экономической литературе существует большое количество подходов к классификации рисков, однако четкой и общепринятой пока так и не существует. Обусловлено это разными проявлениями риска, использованием разных классификационных признаков, заложенных в основу разделения рисков на виды. Теоретические и практические результаты анализа рисков ограничивались, как правило, построением математической модели, которая не имела комплексного характера и использовалась для решения конкретных задач текстильной промышленности [1].

Рассматривая проблемы риска логистической системы, некоторые авторы выделяют в этом контексте понятие "логистический риск". Под логистическим риском подразумевают опасность возникновения задержки в работе цепи снабжения, срыв снабжения или нарушения в работе одного или нескольких звеньев цепи [3].

Можно отметить, что вся данная выше характеристика неопределенности и рисков в полной мере относится к предприятиям текстильной промышленности и их логистическим системам. При этом стоит систематизировать основные риски, которые влияют на эффективность логистической системы именно текстильного предприятия. Приведем примеры:

1. Рассматривая приговор № 1-436/2019 1-61/2020 от 12 мая 2020 в отношении гражданина Хачатряна Г.Е., который в составе группы лиц проник на склад, расположенный по адресу: д. Мильково, владение 2, откуда тайно похитил принадлежащие ООО "ТК Текстиль Оптима" 713 комплектов костюмов "Горка-3", 1276 комплектов костюмов "Фаворит 2 (Грета)", 744 комплекта (куртка, брюки) костюмов "Стандарт", 1100 костюмов "Стандарт 2 СОП", можно сформулировать риск недопоставки продукции:

– хищение (сюда же относится утрата вследствие аварии) имущества;

– срыв поставок соответствующих текстильных материалов;

– падение пропускной способности логистической системы;

– отказ оборудования или перерасход сырья и материалов;

– неэффективность подразделений сбыта.

2. Профессиональное сообщество высказывает коллективное мнение, что большую часть некачественной текстильной продукции выявляют на стадии ее приемки, скрытые недостатки возникают достаточно редко. Некачественная продукция в среднем составляет не более 3% от всего объема поставляемой текстильной продукции. Несмотря на незначительные процентные показатели, можно фактически утверждать о наличии рисков некачественной поставки:

– недостаточное качество материалов или исходного сырья;

– отсутствие подходящего предложения на рынке сырья с требуемым соотношением цена-качество;

– нарушение технологии хранения или транспортировки; физический износ транспортных средств, складского оборудования;

– отсутствие системы контроля качества.

3. Анализируя в качестве примера дело № А63-15754/2022, рассматриваемое в Арбитражном суде Ставропольского края между ООО "Санаторий "Русь" и ООО "ДМ Текстиль", о взыскании задолженности по договору от 27.06.2022 № П/27-06-22/1 в размере 181 600 руб., видим, что между обществами был заключен договор поставки. ООО "ДМ Текстиль" поставило товар в адрес ООО "Санаторий "Русь" с нарушением

сроков поставки на 7 дней и ненадлежащего качества. Данный пример позволяет говорить о рисках нарушения сроков поставки:

– авария транспортных средств, авария на объектах логистической сети;

– низкая эффективность транспортных маршрутов (сбои в транспортной системе или увеличение времени простоев);

– нарушение персоналом производственно-технологической дисциплины;

– ошибки в выборе посредников.

4. По данным Росстата за последние пять лет наблюдается фактически двукратный рост затрат на производство и продажу текстильных изделий. В результате появляются основания для выделения рисков увеличения общих логистических затрат:

– рост цены на ресурсы (рост транспортных тарифов или посреднических расценок);

– несоблюдение технологии хранения, транспортировки; низкая эффективность управления запасами.

ВЫВОДЫ

Следует четко разграничивать риски, на которые предприятие текстильной отрасли и его логистическая система оказывают влияние и действие которых могут прогнозировать в будущем (риски внутренней среды), и риски, на которые отдельное предприятие имеет ограниченное влияние (риски внешней среды), однако их следует учитывать в процессе разработки стратегии управления предприятием для того, чтобы негативное влияние снизить до минимально возможного уровня. Нарушение целостности внутренней и внешней среды логистической системы и возможность возникновения опасности со стороны субъектов управления, в том числе обострение конфликта их интересов, являются наиболее частыми причинами риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годованый К.А., Верескун В.Д., Гуда А.Н., Долгий И.Д., Мамаев Э.А. Модели логистики технологического аутсорсинга в транспортно-логистических системах // ИВД. 2022. №3 (87). С. 219...231.

2. Курбанов А.Х., Бекмурзаев И.Д., Мальков Е.С. Инновационные бизнес-процессы логистической деятельности предприятия // Журнал прикладных исследований. 2022. №6. С.339...345.

3. Миндлин Ю.Б. Научные подходы к исследованию кластеризации текстильной промышленности // Известия СПбГЭУ. 2022. №2 (134). С. 68...73.

4. Овечкина О.М. Логистика в системе экономических знаний и практик // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2022. №5-1. С. 921...923.

5. Тачгулыева Г. Особенности применения поперечного метода калькулирования себестоимости на предприятиях текстильной промышленности // Вестник науки. 2023. №6 (63). С. 131...133.

6. 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.

2. Kurbanov A.Kh., Bekmurzaev I.D., Malkov E.S. Innovative business processes of the logistics activity of the enterprise // Journal of Applied Research. 2022. №6. P. 339...345.

3. Mindlin Yu.B. Scientific approaches to the study of clustering of the textile industry // Proceedings of St. Petersburg State University of Economics. 2022. No. 2 (134). P. 68...73.

4. Ovechkina O.M. Logistics in the system of economic knowledge and practices // Greater Eurasia: development, security, cooperation. 2022. No. 5-1. P. 921...923.

5. Tachgulyeva G. Features of the application of the incremental method of cost calculation at textile industry enterprises // Bulletin of Science. 2023. No. 6 (63). P. 131...133.

6. Shchurina S.V. The consequences of the pandemic for investments in the Russian textile industry in 2022 and in the medium term // Economics. Taxes. Right. 2022. №1. P. 124...133.

REFERENCES

1. Godovany K.A., Vereskun V.D., Guda A.N., Dolgiy I.D., Mamaev E.A. Models of logistics of technological outsourcing in transport and logistics systems // IVD. 2022. No. 3 (87). P. 219...231.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 07.10.22.

УДК 338.1

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_17

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

MODERN ACHIEVEMENTS IN TEXTILE INDUSTRY

М.С. ОБОРИН^{1,2,3}, И.И. САВЕЛЬЕВ⁴

M.S. OBORIN^{1,2,3}, I.I. SAVELEV⁴

¹Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,

²Пермский государственный национальный исследовательский университет,

³Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова,

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

¹Perm Institute (branch) of the Plekhanov Russian University of Economics,

²Perm State National Research University,

³Pryanishnikov Perm State Agrarian and Technological University,

⁴Lomonosov Moscow State University)

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

В данной статье исследуются особенности развития технологий в текстильной и швейной промышленности. Проведен сравнительный анализ влияния различных факторов, в том числе научно-технологических, на эффективность развития текстильной промышленности. Нанотехнологии играют значимую роль в современной науке и реальном секторе экономики, определяя динамику интенсивной трансформации традиционных техно-

гий производства. Эффективное развитие нанотехнологий существенно меняет концепцию создания волокнистых материалов с модифицированной химической структурой и качественными характеристиками. Рассмотрен опыт развития отечественной текстильной промышленности и особенности реформирования производства в Китае. В текущей макроэкономической ситуации субъекты бизнеса с текстильной специализацией могут адаптировать и применять промышленные инновации на основе синтеза технологий отечественной и зарубежной практики. В России государство является одним из ключевых субъектов управления и рыночным игроком, влияющим на позиции региона в сфере текстильного и швейного производства, формирование благоприятного делового климата и условий, обеспечивающих консолидацию финансовых ресурсов из различных источников.

This article examines the features of technology development in textile and clothing industry. A comparative analysis of the influence of various factors, including scientific and technological, on the development effectiveness of textile industry is carried out. Nanotechnology plays a significant role in modern science and in the real sector of the economy, determining the dynamics of intensive transformation of traditional production technologies. The effective development of nanotechnology changes the concept of creating fibrous materials with a modified chemical structure and qualitative characteristics significantly. The experience of the development of the domestic textile industry and the specifics of reforming production in China are considered. In the current macroeconomic situation, business entities with textile specialization can adapt and apply industrial innovations based on the synthesis of technologies of domestic and foreign practice. In Russia, the state is one of the key subjects of management and a market player influencing the position of the region in the field of textile and clothing production, the formation of a favourable business climate and conditions that ensure the consolidation of financial resources from various sources.

Ключевые слова: инновационная система, текстиль, технология, нанотекстиль, волокнистые материалы, институты развития, конкурентные преимущества, фабрика будущего.

Keywords: innovation system, textiles, technology, nanotextile, fibrous materials, development institutions, competitive advantages, factory of the future.

Введение

Сегодня инновационные достижения технологов текстильного производства включают разработку высокопрочных и высокомодульных волокон, применяемых как основу в приложениях нелинейно-динамического анализа в биомедицине, а также материалов, которые помогают экономить энергию и бороться с загрязнением природной среды [10]. В настоящее время эффективное развитие специализированной отрасли машиностроения, обеспечивающей технологическим оборудованием и запчастями легкую текстильную промышлен-

ность, позволило автоматизировать большинство рабочих процессов, что значительно облегчило трудоемкость текстильного производства, на котором раньше сотрудникам приходилось затрачивать огромные трудовые ресурсы для работы на ткацких станках и пряхках. Современные текстильные предприятия функционируют на основе цифровых технологических процессов, что приносит существенный эффект в различных областях, включая сферу, связанную с лечебно-оздоровительными процедурами.

Несмотря на то, что во многих странах текстильная промышленность до сих пор представляет довольно трудоемкий процесс, развитие современных технологий способствует оптимизации производственных процессов на многих текстильных предприятиях. Директор Американского музея истории текстиля Джонатан А. Стивенс проводит параллель между сегодняшними достижениями и показателями прошлых периодов, сообщая, что тогда как в 1980 году производительность за 60 секунд составляла до 200 оборотов, что считалось большим достижением, то современные ткацкие станки способны совершать до 2000 оборотов в минуту [3]. Также значительное влияние на текстильное производство оказало использование возможностей компьютерного оборудования для автоматизации процессов проектирования и автоматизации производства в рамках повышения эффективности, рентабельности и конкурентоспособности. Усовершенствованное техническое оборудование, достигшее максимальной точности, позволяет внедрять инновационные материалы в специальные ткани для медицинской сферы и биомедицины. Кроме субстратов, используемых для лечения сердечно-сосудистой системы, разработаны новые текстильные инновации, такие как волокно синтетического происхождения, разработанное компанией DuPont, представляющее собой специальный материал, применяемый в компрессионной спортивной одежде.

В текстильной промышленности разработка инновационного продукта и внедрение его в текущее производство характеризуется поразительными достижениями, что выражено в усовершенствовании производственного процесса и качестве результатов.

Швейная и текстильная промышленность, характеризующиеся трудоемким производством, в ходе развития искусственного интеллекта и роботизированного оборудования могут получить значительные преимущества [15]. Для многих реальных секторов экономики насущной проблемой является вопрос устойчивого развития. Современный потребитель придает большое значение экологической составляющей

потребляемых им продуктов, поскольку он достаточно информирован о ситуации в природной среде и рисках для здоровья. Крупные текстильные предприятия в рамках долгосрочного сотрудничества нацелены на производство экологически чистой продукции с целью поддержания устойчивого положения на рынке. Это в свою очередь способствует производству прочной ткани с биологическими аэробными характеристиками, позволяющими экономить природные ресурсы [9].

Еще одной значимой технологией в текстильной промышленности стала технология прямого нанесения красок на запечатываемую поверхность без применения постоянных печатных форм. Благодаря цифровым принтерам упростился процесс использования платформы в текстильной, полиграфической и модной индустрии, позволяющей специалистам по разработке новых видов одежды создавать усовершенствованный дизайн с полноценным использованием их творческого потенциала. Поразительные эксплуатационные качества цифровых принтеров оптимизируют технологии текстильной промышленности в рамках разработки и создания инновационного дизайна с сохранением временных ресурсов и повышением рентабельности.

Использование нанотехнологий в текстильной промышленности позволяет производить одежду с точки зрения научных методов. Примером текстиля, произведенного на основе нанотехнологии, может служить жаропрочная, самоочищающаяся и водоотталкивающая ткань, а также материал с минимальным потреблением энергии и наиболее высокими показателями прочности.

Текстильная промышленность традиционно сконцентрирована на конечном продукте или результате. При этом в современных реалиях с активно развивающимися инновационными технологиями акцент отраслевых субъектов сместился к инвестированию и стратегическому развитию, а также применению научных подходов в швейной и текстильной промышленности к адаптации инноваций. Крупные финансовые вложения и развитие в данной сфере в

результате откроют потенциальные долгосрочные перспективы, позволяющие снизить затраты, повысить объемы прибыли, а также оптимизировать качественные и количественные показатели процесса производства [7].

Развитие текстильных предприятий в настоящее время характеризуется взаимодействием с научными институтами и центрами в области нанотехнологий. Основным продуктом совместной деятельности субъектов текстильной промышленности и научных институтов является умная, интеллектуальная ткань. Разработчиками внедрены в состав ткани микроскопические объекты, усиливающие определенные качественные характеристики ткани.

Во многих развитых странах произошел международный обмен технологиями, активное развитие получили такие современные технологии, как нанотехнологии, биотехнологии, лазерные, радиационные и информационные технологические решения. В соответствии с данными Государственного комитета РФ по статистике на долю легкой промышленности приходилось 17% от общего объема промышленности страны, ее доля в ВВП составляла 4%, а в производстве непродовольственных товаров, предназначенных для продажи населению, – более 44% [4]. Годовой прирост объемов промышленного производства текстильной отрасли в стране за последние годы составил около 18%, а экспорта – 10%. В то же время необходимо отметить, что несмотря на тенденцию фактического развития текстильной промышленности ее вклад в экономическое развитие страны недостаточно высок.

Если обратиться к зарубежному опыту, можно привести пример швейной и трикотажной промышленности Узбекистана, которая в непростых текущих условиях является одной из ведущих и динамично развивающихся отраслей. Текстильная промышленность Узбекистана характеризуется множеством системных проблем, ограничивающих динамичное развитие данной сферы. Стратегия развития отрасли в стране ориентирована на преобразование имеющегося потенциала, открывающего

перспективы для прибыльной переработки и производства готовой продукции с большей добавленной стоимостью из имеющегося сырья. При этом текстильная промышленность в Узбекистане на сегодняшний день не достигла технического и технологического прогресса развитых стран, что лишает страну большого притока инвестиционных потоков, необходимых для дальнейшего развития [2].

Долгосрочная стратегия развития отрасли Китая направлена на переход от увеличения объемов производства к получению прироста продукции за счет более эффективного использования ресурсного потенциала путем широкого применения современных технологий и увеличения доли инновационного текстиля. Модельеры одежды в Китае используют технологии создания универсальных моделей, которые можно носить, как и другие традиционные изделия, при этом данная одежда будет выполнять определенную, например защитную, функцию. Согласно национальной программе развития на предприятиях промышленности планируется заменить до 10 миллионов специализированных машин, используемых для раскроя, пошива, отделки и обработки текстильных изделий, внедрить современное автоматизированное оборудование, что улучшит энергоемкость этапов производственного цикла [13]. Формирование материально-технической базы высокотехнологичного производства является одним из приоритетов модернизации отраслевых субъектов, включая капитализацию и увеличение рентабельности. Практический опыт Китая является полезным для России, его можно адаптировать под некоторые формы и виды государственной поддержки и территориально-отраслевого планирования размещения производства.

Сегодня нанотехнологии применяются для получения таких характеристик материалов, как интенсивное впитывание влаги, высокая смачиваемость и антибактериальные свойства, которые предотвращают и ингибируют рост бактерий.

На этапах нормативно-правовых и технических регламентов находится производство антибактериальных тканей для повсе-

дневного использования, которые обработаны серебром. Данная технология разработана в специализированном научном центре по вопросам химии, физики и технологии полимеров, включая область нанонауки. Серебро – мощнейший природный антисептик для живых организмов [14].

Клинические исследования в сфере *дерматовенерологии* и косметологии подтвердили, что производимые атомы *серебра*, объединенные в маленькие кристаллы, оказывают положительный лечебный эффект при развитии различных кожных заболеваний.

Разработки в сфере интеллектуальных тканей классифицируются на интеллектуальные и колористические [8].

Разработка новых цветовых решений для костюмов при профессиональном использовании существенно повышает спрос со стороны различных видов деятельности. Цветной рисунок, нанесенный на текстильное изделие, представляет элемент нанотехнологии, поскольку красящее вещество путем равновесного поглощения переносится на волокна ткани [11].

Процесс колорирования текстиля реализуется на разных этапах технологического процесса, тогда как печать проводится исключительно на завершающей стадии декорирования изделия. Иногда краситель проявляет химическую активность с волокнообразующими полимерами, что приводит к прочной связи с волокнистым полимером и формированию макромолекул В-мономатических волокон, отчего окраска приобретает устойчивость к воздействию внешних факторов.

В текущий период инновационного стимулирования производства нанотехнологии приближаются к созданию наиболее стойкого колорирования без использования синтетических красителей и порошкообразных красящих веществ. Данный процесс представляет собой структурное колорирование, благодаря которому ткань приобретает окраску, содержащую поры различной геометрической формы, образующие наноструктуру определенного узора, эквивалентную природному естеству [6].

К примеру, насыщенного черного и цвета индиго, аналогичного окрасу бабочки, можно добиться путем именно этой технологии через взаимодействие света и чешуек на *крыльях бабочек*. Ажурные наноструктуры позволяют добиться не только цветового эффекта, но и эффекта прозрачности, что активно применяется в технологиях радиолокационных станций для отражения радиоволн. Также данная технология проходит испытания для разработки одежды, невидимой через приборы, предназначенные для наблюдения за объектами в темное время суток.

Основные направления развития умного текстиля включают разработку технологий со спектром новых отличных качеств, расширяющих области их применения. Изначально функции продукции из интеллектуальных тканей должны были обеспечивать безопасность военнослужащих, в частности определять синхронность сердечных сокращений и при необходимости вводить необходимый лекарственный препарат для нормализации сердцебиения либо при ранении оповещать о критическом состоянии. Одежда на основе интеллектуальных тканей должна самоочищаться, поддерживать необходимую температуру тела, *нейтрализовать* ядохимикаты, выполнять броневое действие пули [1].

Химические волокна приобретают уникальные и полезные свойства при наполнении их наночастицами оксида алюминия. Наночастицы оксида алюминия, представленные мельчайшими чешуйками, обеспечивают высокую электро- и теплопроводность, защиту от ультрафиолета, противопожарную защиту, придают материалам свойство подвергаться химическим превращениям и позволяют им приобрести высокую способность сопротивляться разрушающему воздействию внешних сил. Полиамидные волокна, содержащие 5% наночастиц оксида алюминия, имеют увеличение разрывной нагрузки на 40% и напряжения прочности при изгибе на 60%. Такие волокна эффективно применяются в производстве защитных средств и снаряжений, снижающих последствия от различных ударов.

В настоящее время активно проходит исследование и производство синтетических волокон с наночастицами оксидов металлов: диоксида титана, оксида алюминия, оксида цинка, оксида магния, благодаря которым волокна характеризуются следующими отличиями [5, 12]:

- ускорение химической реакции, обусловленное совместным действием катализатора и облучения светом;
- защита от ультрафиолета;
- антитоксическое и сорбционное действие;
- способность нитей проводить электрический ток;
- защита от ветра и мороза.

Химические волокна получают также электроформованием – методом получения волокон из полимерных жидкостей в результате воздействия электростатического поля. При приготовлении раствора или расплава фиброгенного полимера наночастицы наполнителя могут быть введены в структуру любого химического волокна. В соответствии с химическим свойством добавки, распределенной в матрице композита, формируются волокна, характеризующиеся способностью сопротивляться воздействию *механической* нагрузки, проводить электрический ток, противомикробными свойствами, восприятием определенных сигналов и т.д. Каждая индивидуальная характеристика получаемого волокна определяет область применения этого материала, к примеру, подразделения исполнительной власти различной компетенции, спорта, медицины и других сфер.

Другим важным направлением модернизации производства является разработка сенсорных элементов, внедренных в тканевую структуру в целях контроля технических и биологических параметров. К первым относятся графика дисплеев и регулирование состояний электронных приборов и систем. Второе направление связано с диагностикой параметров тела человека, что существенно повышает качество лечебно-оздоровительной деятельности.

Нанотехнологии в текстильной промышленности играют определяющую роль в инновационной интенсификации развития производства. В настоящее время нанотехнологии в рассматриваемых видах деятельности определяют направления модернизации и совершенствования производственного цикла, улучшения качественных характеристик продукции в соответствии с международными стандартами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверина И.С.* Эволюция феномена "промышленная революция": предпосылки и факторы // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2020. Т. 22, № 4. С. 18...25.
2. *Азимов Б.Ф.* Формирование и совершенствование стратегии поддержки инновационной деятельности в регионах Республики Узбекистан // Молодой ученый. 2022. № 12 (407). С. 63...65
3. *Балацкий Е.В.* Глобальные вызовы четвертой промышленной революции // Terra Economicus. 2019. № 17 (2). С. 6...22.
4. *Боровков А.И.* Умные технологии на службе продуктовых программ // Проектный вестник. 2018. № 2. С. 32...36.
5. *Валитова Л.А., Шарко Е.Р., Шерешева М.Ю.* Выделение промышленных кластеров на основе анализа бизнес-связей: пример текстильной отрасли // Управление. 2021. Т. 12, № 4. С. 59...74.
6. *Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В.* Повышение качества суконной ткани для спецодежды после наноструктурирования плазмой // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 69...76.
7. *Жумаева З.К., Расулова Н.Н.* Инновационный путь развития экономики Узбекистана // Теория и практика современной науки. 2019. № 5. С. 224...226.
8. *Круглов А.В., Телегин Е.С., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А.* Современные тенденции и перспективы использования "умной одежды" // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 192...195.
9. *Сабырханова С.Ш., Битлисли Б.О., Елдияр Г.К.* Сравнительный анализ рынка ведущих стран мира и Казахстана по производству текстильных материалов, используемых в обувной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1 (397). С. 18...22.
10. *Тарасов И.В.* Технологии индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 2. С. 62...69.

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

12. Шакирова Ю.С. Перспективы развития текстильной промышленности Узбекистана и возможности увеличения экспортного потенциала // Бюллетень науки и практики. 2021. № 7 (12). С. 256...263.

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

14. Шваб К., Дэвис Н. Технологии четвертой промышленной революции: пер. с англ. М.: Эксмо, Бомбора, 2018. 320 с.

15. Эшдавлатова Г.Э., Амонов М.Р., Равшанов К.А., Очиллова Н.Р. Композиционные материалы: разработка печатного состава на основе загущающей композиции // Узбекский научно-технический и производственный журнал. 2021. № 4. С. 67...69.

REFERENCES

1. Averina I.S. Evolution of the phenomenon "industrial revolution": prerequisites and factors // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika, 2020. Vol. 22, No. 4. P. 18...25.

2. Azimov B.F. Formation and improvement of the strategy for supporting innovation activities in the regions of the Republic of Uzbekistan // Molodoj uchenyj, 2022. No. 12(407). P. 63...65.

3. Balatsky E.V. Global Challenges of the Fourth Industrial Revolution // Terra Economicus. 2019. No. 17(2). P. 6...22.

4. Borovkov A.I. Smart technologies in the service of product programs // Proektnyj vestnik. 2018. No. 2. P. 32...36.

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

6. Gainutdinov R.F., Khammatova V.V. Improving the quality of cloth fabric for workwear after plasma nanostructuring // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. No 4 (400). P. 69...76.

7. Zhumaeva Z.K., Rasulova N.N. Innovative way of development of the economy of Uzbekistan // Teoriya i praktika sovremennoj nauki, 2019. No. 5. P. 224...226.

8. Kruglov A.V., Telegin E.S., Matrokhin A.Yu., Gruzintseva N.A. Modern trends and prospects for the use of "smart clothing" // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No 1 (403). P. 192...195.

9. Sabyrkhanova S.Sh., Bitlisli B.O., Eldiyar G.K. Comparative analysis of the market of the leading countries of the world and Kazakhstan for the production of textile materials used in the shoe industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No 1 (397). P. 18...22.

10. Tarasov I.V. Technologies of industry 4.0: impact on increasing the productivity of industrial companies // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. 2018. No. 2. P. 62...69.

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

12. Shakirova Y.S. Prospects for the development of the textile industry of Uzbekistan and the possibility of increasing export potential // Byulleten' nauki i praktiki. 2021. No. 7 (12). P. 256...263.

13. 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.

14. Schwab K., Davis N. Technologies of the Fourth Industrial Revolution. Per. s angl. M.: Eksmo, Bommora, 2018. 320 p.

15. Eshdavlatova G.E., Amonov M.R., Ravshanov K.A., Oчиллова N.R. Composite materials: Development of printing composition based on thickening composition // Uzbekskij nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal. 2021. No. 4. P. 67...69.

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

**РАЗВИТИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА**

**DEVELOPMENT OF COMPETITIVENESS OF LIGHT INDUSTRY
PRODUCTS OF AZERBAIJAN**

*Х.Ф. МАМЕДОВА¹, Ф.А. МАМЕДОВ^{1,2}, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ^{3,4}, Г.З. ЮЗБАШЫЕВА⁵,
С.Х. САЛИМЛИ⁶, М.С. ЗЕЙНАЛОВА⁷*

*H.F. MAMEDOVA¹, F.A. MAMEDOV^{1,2}, S.SH. TASHPULATOV^{3,4}, G.Z. YUZBASHYIEVA⁵,
S.KH.SALIMLI⁶, M.S.ZEYNALOVA⁷*

*(¹Азербайджанский технологический университет,
²Западно-Каспийский университет, Азербайджанская Республика,
³Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
⁴Джизакский политехнический институт, Республика Узбекистан,
⁵Институт экономики Министерства науки и образования Азербайджана,
⁶Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации,
⁷Азербайджанский государственный экономический университет (UNEC))*

*(¹Azerbaijan Technological University,
²Western Caspian University, Azerbaijan Republic,
³Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
⁴Jizzakh Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan,
⁵Institute of Economics under the Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
⁶Research Institute of Land Reclamation,
⁷Azerbaijan State Economic University (UNEC))*

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

Статья посвящена принятым мерам по развитию конкурентоспособности продукции в отрасли легкой промышленности Азербайджана. Приводится анализ таких показателей, как расходы на технологические инновации по видам, структура инвестиций, направленных в основной капитал отрасли, индексы цен производителей промышленной продукции, структура затрат на производство продукции текстильной промышленности и т.д.

The article is devoted to measures for developing the competitiveness of products in the light industry of Azerbaijan. An analysis of such indicators as the cost of technological innovation by type, the structure of investments directed into the fixed capital of the industry, price indices of industrial producers, the cost structure of production of textile products, etc. is provided.

Ключевые слова: легкая промышленность, структура, конкурентоспособность, инновации, инвестиции, текстильная промышленность, трикотажная промышленность.

Keywords: light industry, structure, competitiveness, innovation, economic indicators, textile industry, knitting industry.

Для того чтобы оценить перспективы развития легкой и текстильной промышленности Азербайджана, необходимо отдельно рассмотреть характерные экономические особенности этих отраслей. Для развития легкой и текстильной промышленности требуется следующее:

- большие объемы капитала;
- большие производственные и посевные площади;
- большой энергоемкий и трудно-транспортируемый парк оборудования;
- готовность к преодолению трудностей и рисков выхода товаров на мировой и локальный рынки;
- наличие местной инфраструктуры соответствующего уровня;
- затраты на охрану окружающей среды;
- готовность приема заказов от местных и зарубежных предприятий легкой промышленности (швейное, трикотажное, обувное и т.д.);
- наличие государственных или частных инвесторов;
- наличие менеджеров средней и высокой квалификации (в основном квалифицированные инженеры) для обеспечения нормальной работы предприятий.

Приватизация предприятий легкой промышленности в стране в основном завершена, и новые частные предприятия располагают современным парком оборудования.

К основным условиям дальнейшего развития легкой промышленности в Азербайджане относятся:

- наличие богатой местной сырьевой базы для производства продукции легкой промышленности;
- наличие исторических традиций производства товарной продукции легкой промышленности;
- наличие необходимой инфраструктуры и человеческих ресурсов для развития центральной и региональной легкой промышленности в Азербайджане;
- наличие выгодных экономико-географических возможностей для перевозки продукции (по международным торговым путям);

- прямой доступ к потенциальным экспортным рынкам страны, а также к Центральной Азии и Каспийскому региону;

- опыт подготовки специалистов средней и высшей квалификации легкой промышленности, а также технических и профессиональных рабочих;

- наличие в стране законодательной базы по производству продукции, контролю качества и экспорту продукции на внутренний и внешний рынок;

- благоприятные инвестиционные условия для создания новых предприятий легкой промышленности в стране;

- наличие экономически важных возможностей для развития хлопководства, шелководства, производства и переработки шерсти, ковроткачества.

Таким образом, существует большая потребность в государственной поддержке развития этих традиционных направлений легкой промышленности в Азербайджане. История развития Азербайджана в период независимости доказала, что государство является хорошим производителем и мобилизатором, однако экономическое развитие идет через переход к рыночной экономике. Подготовлена двухэтапная государственная программа развития легкой и пищевой промышленности в республике. Первый этап, выполненный в 2016-2020 годах, реализован успешно. Второй этап данной госпрограммы, реализуемый в 2021–2025 годы, детально разработан с учетом итогов первого этапа и ситуации в мировой экономике. Так, на втором этапе реализации госпрограммы учтен мировой опыт внедрения кластерной модели экономики в легкой промышленности: текстильное, швейное, обувное, кожевенное и галантерейное производства наряду с проектом развития пищевой промышленности [1, 2].

В концепции развития "Азербайджан 2020: видение будущего", утвержденной Указом Президента Азербайджанской Республики от 29 декабря 2012 года, важность диверсификации экономики переходит красную линию. В ней говорится: "Основная задача на нынешнем этапе – ускорить диверсификацию

экономики, сохранить высокие темпы роста ненефтяного сектора в ближайшие годы независимо от уровня нефтяных доходов и расширить его экспортные возможности. Концепция развития "Азербайджан 2020: взгляд в будущее" основана на экспортно-ориентированной экономической модели и предполагает, что повышение конкурентоспособности экономики и улучшение ее структуры приведет к увеличению ненефтяного экспорта. Помимо стремительного развития ненефтяной промышленности, стимулирование и расширение инновационной деятельности создаст благоприятную основу для формирования в стране экономики знаний".

Анализ показателей деятельности предприятий показывает, что низкая конкурентоспособность предприятий определяется использованием устаревшего оборудования с моральной и физической точки зрения. Чтобы местная продукция была конкурентоспособной, необходимо обеспечить технологическое перевоору-

жение производства. Поэтому техническую модернизацию производства можно рассматривать как стратегическое направление развития отрасли.

Как известно, издержки производства считаются одним из основных факторов формирования конкурентоспособности. С этой точки зрения, если посмотреть на структуру затрат на производство продукции текстильной промышленности республики (табл. 1), то видно, что преобладают материальные затраты. В 2018-2022 годах этот показатель составил 52,8%, 51,3%, 55,5%, 45% и 39,9% соответственно. Расходы по остальным показателям колебались в пределах 9-22%. Как видно, уровень заработной платы, которая считается одним из основных факторов стимулирования конкурентоспособного производства, в текстильной промышленности составляет 19-22%. Это нельзя считать положительным показателем.

Т а б л и ц а 1

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022
Всего расходов	100	100	100	100	100
Материальные затраты	52,8	51,3	55,5	45,0	39,9
Амортизация основных средств	9,1	11,8	7,4	16,2	21,9
Расходы на заработную плату и отчисления на социальные нужды	19,6	22,2	20,5	19,3	19,3
Прочие расходы	18,5	14,7	16,6	19,5	18,9

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами на основании информации Государственного статистического комитета Азербайджана.

Одним из основных показателей, влияющих на конкурентоспособность выпускаемой продукции, является уровень цен. Анализ индексов цен производителей промышленной продукции показывает, что только в обрабатывающей промышленности и швейном производстве во все годы наблюдается рост данного показателя. Рост производства кожи, кожгалантереи и обуви зафиксирован в первые 4 года, а рост по отрасли в целом – в первые 3 года. В текстильной промышленности в 2018 году

наблюдался спад на 8%, в 2019 году – спад на 5,6%, в 2020 году – рост на 26,6%, в 2021 году – рост на 5,2%, в 2022 году – рост на 5% (табл. 2).

Легкая промышленность имеет такие капиталоемкие производства, как текстильная и кожевенная промышленность. Исследования показывают, что их модернизация может осуществляться только на основе равноправного взаимодействия государства и частного бизнеса.

Объем производства	2018	2019	2020	2021	2022
Вся промышленность	130,5	133,5	104,5	96,1	94,9
Обрабатывающая промышленность	105,1	109,7	101,3	102,0	115,7
Текстильная промышленность	92,0	126,6	94,4	105,2	105,0
Производство одежды	101,5	100,2	110,1	107,0	102,7
Кожа и кожаные изделия	103,5	108,5	101,1	100,2	98,2

П р и м е ч а н и е. Таблица составлена авторами на основании информации Государственного статистического комитета Азербайджана.

Нормы налоговых отчислений, существующие сегодня, не стимулируют инновационность производства, как это происходит во всем мире, а наоборот, тормозят развитие. Поэтому предоставление уступок субъектам хозяйствования, которые вкладывают свои доходы (прибыль) в перевооружение и модернизацию производства, разработку и применение новой продукции, научных работ, можно рассматривать как одну из важных мер.

Следует отметить, что улучшение качества продукции, повышение производительности труда и расширение производства зависят не только от совершенствования оборудования и технологии, но и от профессионализма персонала. Создание нормальной конкурентной среды и благоприятного экономического климата позволит сохранить и увеличить количество рабочих мест, обеспечить женщинам стабильную и более высокую заработную плату.

В настоящее время увеличения инвестиций в промышленное производство не произошло. Это можно объяснить следующим образом: инвесторы не хотят вкладывать капитал в предприятия из-за низкого качества управления и высоких рисков предприятия (отсутствие защиты прав собственности, риск потери средств, недостаточная прозрачность финансового положения).

Как мы уже упоминали, обеспечение конкурентоспособности местной продукции было бы уместно связать с техническим перевооружением предприятий и внедрением новых технологий [3, 4].

Из сказанного можно сделать вывод, что инвестиции в текстильную отрасль не привлекательны для потенциальных инвесторов в текущих экономических условиях.

По сравнению с инвестициями в другие отрасли промышленности инвестиции в легкую промышленность сравнительно невелики.

В условиях отсутствия реальных концессий и инвестиций в базовые инновации стабилизация производства может быть достигнута только за счет дифференциации производства и сегментации рынка при условии создания и освоения новых рынков сбыта. Инновации в сырье и технологиях могут сделать набор продуктов очень редким, уникальным и патентоспособным.

При исследовании инвестиций, направленных на инновации, наблюдаются изменения в разных направлениях. Так, если посмотреть на динамику расходов на технологические инновации, то увидим, что в последующие годы по сравнению с 2022 годом по всей отрасли наблюдается рост этого показателя. В частности, в 2022 году зафиксирован рост в 2,6 раза по сравнению с 2018 годом и в 1,6 раза по сравнению с 2019 годом. Самый высокий показатель зафиксирован в 2019 году – 31,589 тысячи манатов. Из показателей видно, что расходы на продуктовые инновации во всех отраслях преобладают над процессными инновациями. Аналогичная ситуация наблюдается и в обрабатывающей промышленности [5].

Анализ расходов на технологические инновации в текстильной промышленности показывает, что в первые 2 года средства не направлялись на продуктовые инновации. В 2018-2022 годах зафиксирован регулярный рост. Так, в 2022 году произошел рост в 10,1 раза по сравнению с 2020 годом и в 2 раза по сравнению с 2021 годом (табл. 3).

Таблица 3

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022
Вся промышленность	8 139	31 589	9 326	13 877	21 534
Инновации продукции	7 952	30 904	5 975	11 899	13 510
Инновации процесса	187,3	684,6	3 351	1 978	8 024
Обрабатывающая промышленность	8 128	29 319	8 083	4 066	17 384
Инновации продукции	7 941	28 634	5 196	3 847	9 523
Процессные инновации	-	-	119,6	600,0	1 210
Текстильная промышленность	187,3	684,6	2 887	219,3	7 861
Инновации продукции	-	-	119,6	600,0	1 210

Примечание. Таблица составлена авторами на основании информации Государственного статистического комитета Азербайджана.

Изучение структуры расходов на технологические инновации в текстильной промышленности показывает, что все затраты направлены на продуктовые инновации. Инвестиций в процессные инновации не зафиксировано. По видам инноваций удельный вес текстильной промышленности в структуре затрат на технологические инновации составил всего 5,6%. Следует отметить, что наряду с этим показателем обращает на себя внимание и структура инвестиций в основной капитал в отрасли. Из исследований известно, что в 2018-2022 гг. удельный вес обрабатывающей промышленности в структуре инвестиций в основной капитал в промышленности варьируется от 8 до 15,8%, тогда как для легкой промышленности этот показатель не достигает даже 1%. Так, в 2018-2019 годах доля

производства кожи, кожгалантереи и обуви в инвестициях, направленных в основной капитал отрасли, составляет 0,03%. В остальные годы капитальные вложения в эту сферу не направлялись. На производство одежды выделено 0,32% и 0,26% в 2018 и 2019 годах и 0,1% в 2022 году. В 2020 и 2021 годах инвестиций не зарегистрировано. Ситуация в текстильной промышленности едва ли удовлетворительна. Известно, что в данной отрасли промышленности в 2019 году инвестиции в основной капитал не были направлены, а в структуре инвестиций, направленных в основной капитал, в 2020 и 2021 годах удельный вес отрасли составил всего 0,1%, в 2018 г. – 0,23%, в 2022 г. – уже 0,5% (табл. 4).

Таблица 4

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022
Вся промышленность	100	100	100	100	100
Обрабатывающая промышленность	11,9	15,8	14,2	11,9	8,4
Текстильная промышленность	0,23	-	0,1	0,1	0,5
Производство одежды	0,32	0,26	-	-	0,1
Производство кожи, кожгалантереи и обуви	0,03	0,03	-	-	-

Примечание. Таблица составлена авторами на основании информации Государственного статистического комитета Азербайджана.

Как видно, в структуре промышленности инвестиции, направленные в легкую промышленность в целом, значительно отстают от инвестиций в другие отрасли по удельному весу.

В последние годы одной из причин проблем в легкой промышленности можно считать отказ от преимуществ горизонтально и вертикально интегрированных комплексов в этой сфере. Эти комплексы позволяли широко использовать опыт ценообразования отечественных фирм,

современные экономические преимущества и экономию от масштаба производства [6].

Интеграция предприятий, включенных в единую технологическую цепочку, использование принципов координации их действий, подчинение их единой цели являются дополнительными возможностями повышения конкурентоспособности конечной продукции. Однако в легкой и текстильной промышленности такая практика не вполне оправдана, так как не

позволяет повысить качество местного производства и выпускать наиболее конкурентоспособную продукцию по сравнению с зарубежными аналогами. Уровень управления качеством является одной из проблем, которая напрямую влияет на развитие кризисных тенденций. В целях повышения конкурентоспособности местной продукции на предприятиях текстильной и легкой промышленности необходимо проводить работу в направлении повышения уровня соответствия производства требованиям системы международных стандартов.

Решение указанных вопросов может положительно повлиять на обеспечение предприятий сырьем. Важным направлением является развитие местной сырьевой базы посредством разработки и реализации целевых программ для этих предприятий.

Несмотря на трудности и нерешенные проблемы, Азербайджан может обеспечить себя продукцией легкой промышленности, способной конкурировать с импортной продукцией. В стране имеется достаточный научный потенциал, и при наличии капитальных вложений в текстильную промышленность появится возможность внедрения новых научных работ, методик и технологий.

Таким образом, можно обозначить ряд проблем работы предприятий легкой и текстильной промышленности:

- низкий технический уровень оборудования;
- устаревание основных производственных фондов;
- недостаточное количество местного сырья и материалов, необходимых для текстильной промышленности (хлопковое волокно, высококачественная шерсть, химические и синтетические волокна, красители);
- использование устаревших неэффективных технологий;
- отсутствие инвестиций в обновление основных фондов;
- отсутствие инноваций в оборудовании и технологических процессах на местах;

- низкий процент загрузки производственных мощностей;
 - низкий уровень квалификации и заработной платы персонала и т.д.
- Указанное подчеркивает необходимость реализации политики, направленной на развитие легкой промышленности:
- повышение инвестиционной активности и привлекательности предприятий отрасли;
 - активное применение в производстве передовых технологий;
 - развитие прикладных научных исследований, расширение научно-технической сферы легкой промышленности;
 - развитие технического уровня текстильных направлений легкой промышленности;
 - создание благоприятных экономических условий для активизации и развития инвестиций в легкую промышленность;
 - стимулирование разработки и использования новых технологических процессов и материалов, обеспечивающих снижение материалоемкости и энергоемкости производства продукции легкой промышленности;
 - нормализация ситуации на потребительском рынке и повышение эффективности таможенно-тарифного регулирования внешней торговли товарами легкой промышленности;
 - стимулирование развития малого предпринимательства в сфере трикотажного, обувного и швейного производства;
 - постоянное повышение квалификации специалистов всех уровней и формирование кадрового потенциала согласно новейшим достижениям науки и техники;
 - удовлетворение потребности предприятий в сырье на взаимовыгодных условиях;
 - развитие системы страхования инвестиционных и инновационных рисков;
 - усовершенствование процессов осуществления поставок продукции легкой промышленности в госрезерв с учетом предпочтения местных производителей и при минимальном участии посреднических организаций [7, 8].

Легкая промышленность является одной из основных отраслей экономики, занимающихся производством непродовольственных потребительских товаров. Основная цель легкой промышленности – удовлетворение растущего спроса населения на качественные модные товары по доступным ценам.

Согласно Глобальному индексу промышленной конкурентоспособности (CIP – Competitive Industrial Performance Index) Азербайджанская Республика в 2021 году заняла 106-е место среди 142 стран. Позиция в рейтинге с 2018 года выросла на 16 мест (в 2018 году рейтинг был 122-м). При этом по итогам 2021 года Российская Федерация заняла 34-е место, Молдова – 104-е, Грузия – 95-е, Казахстан – 67-е, Армения – 93-е. Лидирующие позиции в рейтинге занимают Германия, Япония и Китай [9].

Существует проблема продвижения продукции на внутреннем и внешнем рынке, поскольку организации работают в условиях жесткой конкуренции. Необходимо разработать эффективную промышленную политику в целях защиты местных производителей и повышения конкурентоспособности отечественной продукции легкой промышленности.

Азербайджанская Республика имеет собственную сырьевую базу, включающую лен, химические волокна и нити, пряжу, ткани, кожевенное и меховое сырье. Это дает легкой промышленности конкурентное преимущество. Собственная сырьевая база позволяет снизить конечную себестоимость готовой продукции, поскольку затраты на материалы составляют значительную часть себестоимости. В настоящее время себестоимость продукции снижается, что способствует повышению ее конкурентоспособности.

Производство текстильной промышленности является сырьевой базой для трикотажных, швейных предприятий и отчасти для предприятий обувной промышленности. Техническое перевооружение предприятий текстильной и кожевенной промышленности позволит обеспечить соответствующие предприятия

легкой промышленности конкурентоспособным сырьем. Это также позволит снизить импортную составляющую стоимости выпускаемой продукции. Кроме того, развитие производства внутри кластеров способствует сотрудничеству предприятий в разработке новой продукции и технологий, совместной поставке и распределении сырья и материалов и других аспектах.

Развитие легкой промышленности невозможно без научных исследований, применения новых технологий управления и обновления основных фондов. Важно уделять внимание развитию наукоемкой продукции и инновационных проектов. Расходы на технологические инновации в основном связаны с модернизацией оборудования. Однако необходимо также увеличить долю затрат на маркетинговые исследования, чтобы сформулировать реальную стратегию поведения компании на рынке.

Одной из основных проблем легкой промышленности является нехватка кадров и грамотного управления [5, 6]. Низкий престиж и низкая заработная плата профессий легкой промышленности не привлекают молодежь к получению рабочей профессии. Демографические прогнозы также показывают, что численность трудоспособного населения в республике снижается. Поэтому привлечение трудовых ресурсов остается одной из главных задач.

Легкая промышленность Азербайджана имеет потенциал для экономического и социального развития страны. Для повышения конкурентоспособности отрасли необходимо развивать ее сырьевую базу, технически переоснащать предприятия, кооперировать внутри кластеров и активно применять инновации. Кроме того, важно решить проблему труда и надлежащего управления. Только в результате совместных усилий государства, предприятий и научных учреждений могут быть достигнуты устойчивые и уникальные конкурентные преимущества в легкой промышленности.

Легкая промышленность является одной из ведущих отраслей мирового промышленного комплекса. В 2022 году ее доля составляла 5,7% мирового ВВП и в ней было занято 14% работников промышленного комплекса [10].

С другой стороны, активизация торговых связей между странами мира, вовлечение новых государств и территорий в международный обмен товарами приводит к изменениям на мировом рынке и усилению конкуренции в производстве и продаже предметов первой необходимости.

Доступ к мировой торговой системе заставляет все больше осознавать необходимость учета мирового опыта и тенденций, связанных с формированием и развитием рынка легкой промышленности. Все это влияет на определение линий поведения предприятий легкой промышленности и обслуживающих их деловых сфер.

ВЫВОДЫ

Научные наблюдения показывают, что в качестве основных процессов, происходящих в мире в рассматриваемой области, можно указать следующие:

1. Значительного увеличения объемов изделий из натуральных тканей не наблюдается. В странах с высокой покупательной способностью постельное белье из хлопчатобумажных тканей заменяется изделиями из шелковых тканей. Чаще используют высокомодульную вискозу из искусственных материалов, трикотажные нити. Постельные комплекты в гостиницах, больницах и других общественных местах начали заменять постельными комплектами из натуральных тканей. В одежде предпочтение отдается изделиям из хлопка и смесей различного состава.

2. Цена на продукцию снижается за счет того, что предприятия используют современное оборудование. В настоящее время в большинстве ведущих стран запущены автоматические линии, на этих линиях работают несколько человек, и с их помощью удалось увеличить объемы и

разнообразие выпускаемой продукции и ускорить рабочий процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архипов В., Ветошников Ю.* Стратегии выживания промышленных предприятий // Вопросы экономики. 2010. №12. С. 139...142.
2. *Павлова Н.Н.* Маркетинговый подход к оценке конкурентоспособности товара // Маркетинг в России и за рубежом. 2009. №1. С. 20...28.
3. *Рубин Ю.Б.* Дискуссионные вопросы современной теории конкуренции // Современная конкуренция. 2010. № 3 (21). С. 38...67.
4. *Эргашева М.Р.* Конкурентоспособность как фактор качества изделий легкой промышленности // Молодой ученый. 2016. №10. С. 331...333.
5. <https://stat.unido.org/cip>
6. <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-11/IDR%202022%20-%20EBOOK.pdf>
7. *Мамедов Ф.А., Мамедова Х.Ф., Мехмиев Ф.С.* Выбор оптимальной структуры производства швейного изделия в особый период (в соответствии с ГОСТ В 9208-85) в Азербайджанской Республике // Управленческий учет. 2022. №10-3.
8. *Мамедов Ф.А., Мамедова Х.Ф., Таштулатов С.Ш.* Проблемы повышения эффективности использования материальных и трудовых ресурсов швейной промышленности Азербайджана // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №3 (399). С. 39...42. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_39.
9. *Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Таштулатов С.Ш., Исмаилов В.А.* Разработка технологии изготовления одежды для учащихся лицея // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №4 (400). С. 153...159. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_153.
10. *Шестов А.В., Мамедов Ф.А.* Современные тенденции развития текстильной и легкой промышленности РФ и за рубежом. Курск: Университетская книга, 2017. 560 с.

REFERENCES

1. *Arkhipov V., Vetoshnikova Yu.* Strategies for the survival of industrial enterprises // Issues of Economics. 2010. No. 12. P. 139...142.
2. *Pavlova N.N.* Marketing approach to assessing the competitiveness of a product/N.N. Pavlova // Marketing in Russia and abroad. 2009. No. 1. P. 20...28.
3. *Rubin Yu.B.* Controversial issues of modern competition theory // Modern competition. 2010. No. 3 (21). P. 38...67.
4. *Ergasheva M.R.* Competitiveness as a factor in the quality of light industry products // Young scientist. 2016. No. 10. P. 331...333.
5. <https://stat.unido.org/cip>

6. <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-11/IDR%202022%20-%20EBOOK.pdf>

7. Mamedov F.A., Mamedova H.F., Mehdiev F.S. Selection of the optimal structure for the production of garments during a special period (in accordance with GOST B 9208-85) In the Republic of Azerbaijan Management Accounting. 2022. No. 10-3.

8. Mamedov F.A., Mamedova Kh.F., Tashpulatov S.Sh. Problems of increasing the efficiency of using material and labor resources in the clothing industry of Azerbaijan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2022, No. 3 (399). P. 39...42. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_39.

9. Mamedova Kh.F., Mamedov F.A., Tashpulatov S.Sh., Ismailov V.A. Development of technology for

making clothes for students at the lyceum // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2022, No. 4 (400). P. 153...159. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_153.

10. Shestov A.V., Mamedov F.A. Modern trends in the development of textile and light industry in the Russian Federation and abroad. Kursk: University Book, 2017. 560 p.

Рекомендована кафедрой корпоративного управления Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Поступила 07.11.23.

УДК 338.4

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_32

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

FORMATION OF AN EFFECTIVE SYSTEM FOR ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF THE TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISE

И.Ю. ШАХОВА¹, С.Н. СПЕРАНСКИЙ¹, Е.Ю. ОНОПУК¹, У. ЛОДОЙН²

I.Y. SHAKHOVA¹, S.N. SPERANSKY¹, E.Y. ONOPYUK¹, U. LODOIN²

¹Ивановский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,
²Монгольский университет науки и технологий)

¹(Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov (Ivanovo branch),
²Mongolian university of science and technology)

E-mail: shakhova.ira@yandex.ru, spira1971@mail.ru, onopuk88@gmail.ru,
udval_lodoi@mustedu. mn

Статья посвящена изучению вопросов формирования эффективной системы обеспечения экономической безопасности текстильного предприятия. Данной проблемой на протяжении многих лет занимаются специалисты, однако нет единого мнения относительно приоритетов в компонентах экономической безопасности хозяйствующих субъектов, в том числе и относящихся к текстильной отрасли производства. Актуальность представленного исследования обусловлена тем, что руководство предприятий зачастую при определении стратегии деятельности не учитывает значимость таких составляющих, как кадровая и информационная. Основной акцент делается на финансовом и технологическом компонентах экономической безопасности. Однако в современных реалиях очевидно, что несоблюдение конфиденциальности информации по базовым финансово-экономическим показателям и направлениям деятельности предприятия, которое зависит и от работников, может ослабить позиции субъекта в конкурентной борьбе. Цель данного исследования заключалась в разработке рекомендаций

по управлению рисками и угрозами, влияющими на систему обеспечения экономической безопасности предприятия. В качестве объекта исследования выступило общество с ограниченной ответственностью "ТД "Ника", которое занимается производством готовых текстильных изделий. Выводы базируются на результатах анализа его финансового состояния за период с 2020 по 2022 год. Экспертным методом выполнена качественная оценка рисков и угроз, ставшая основой для предложений по формированию эффективной системы обеспечения экономической безопасности текстильного предприятия.

The article is devoted to the study of issues of forming an effective system for ensuring the economic security of a textile enterprise. Experts have been dealing with this problem for many years, however, there is no consensus on the priorities in the components of economic security of business entities, including those related to the textile industry. The relevance of the presented research is due to the fact that enterprise management, when determining the strategy of operations, often does not take into account the importance of such components as personnel and information. The main emphasis is on the financial and technological components of economic security. However, in modern realities it is obvious that failure to maintain confidentiality of information on basic financial and economic indicators and areas of activity of an enterprise, which also depends on employees, can weaken the position of the subject in competition. The purpose of this study was to develop recommendations for managing risks and threats affecting the system for ensuring the economic security of an enterprise. The object of the study was the limited liability company TD Nika, which produces finished textile products. The conclusions are based on the results of an analysis of its financial condition for the period from 2020 to 2022. Using the expert method, a qualitative assessment of risks and threats was carried out, which became the basis for proposals for the formation of an effective system for ensuring the economic security of a textile enterprise.

Ключевые слова: экономическая безопасность, система, текстильное предприятие, риски и угрозы, финансовое состояние, служба внутреннего контроля.

Keywords: economic security, system, textile enterprise, risks and threats, financial condition, internal control service.

Вопросы экономической безопасности предприятий, в том числе и текстильной промышленности, достаточно актуальны и требуют комплексного системного подхода к изучению. Практика показывает, что, несмотря на растущий интерес к этой проблеме отечественных и зарубежных экономистов, все же большая часть трудов касается вопросов национальной и региональной безопасности, а не уровня хозяйствующего субъекта.

Определим наиболее важные проблемы экономической безопасности для совре-

менных текстильных предприятий. Во-первых, недостаточная проработка данных вопросов в нормативно-правовых актах, что не позволяет проводить объективную оценку экономической безопасности предприятия. Во-вторых, низкий технико-технологический уровень производства, не позволяющий производить конкурентоспособную продукцию, способную приносить хорошую прибыль.

Таким образом, для формирования эффективной системы обеспечения экономической безопасности текстильного пред-

приятия необходим постоянный мониторинг факторов ее формирования и рисков деятельности предприятия. Возникает необходимость оперативного реагирования управленческого персонала на ухудшение финансовых показателей деятельности и применения ответных мер по урегулированию возникших проблем посредством использования системного подхода к оценке экономической безопасности текстильного предприятия.

В данном исследовании формирование системы экономической безопасности рассмотрено на базе ивановского предприятия ООО "ТД "Ника", которое занимается производством готовых текстильных изделий, кроме одежды.

Итак, система экономической безопасности предприятия призвана обеспечивать

состояние эффективного использования его ресурсов при одновременном предотвращении угроз и создания условий для устойчивой финансово-хозяйственной деятельности.

По мнению ряда авторов [4, 6, 9], система экономической безопасности предназначена для обеспечения функционирования следующих компонентов финансово-хозяйственной деятельности субъекта: финансовой, правовой, интеллектуальной, информационной, кадровой, технико-технологической, экологической.

Важно учитывать влияние внешних и внутренних факторов на экономическую безопасность текстильного предприятия [2, 3, 12]. Среди основных можно отметить факторы, представленные на рис. 1.



Рис. 1

Для того чтобы гарантировать экономическую безопасность современному текстильному предприятию, необходимо решить следующие задачи:

- обеспечение финансовой устойчивости, ликвидности и прибыльности деятельности предприятия [11];
- обеспечение выпуска конкурентоспособной продукции высокого качества;
- оптимизация структуры управления на предприятии;
- обеспечение информационной безопасности посредством использования надежных программных продуктов и применения технических мер защиты информации;

- регулярный мониторинг рисков и угроз, с которыми может столкнуться предприятие [11].

Успешное решение вышеназванных задач позволит разработать эффективную стратегию деятельности текстильного предприятия.

ООО "ТД "Ника", кроме основного вида деятельности (производство готовых текстильных изделий), занимается производством прочей одежды и аксессуаров к ней, а также оптовой торговлей текстильными изделиями. Уставный капитал составляет 10 000 рублей. Организация применяет упрощенную систему налогообложения с

объектом "доходы, уменьшенные на величину расходов".

В 2022 году основные финансовые показатели предприятия заметно ухудшились по сравнению с предыдущим годом

(табл. 1): сократилась прибыль на 8,1%; уменьшились совокупные активы на 25,1%; снизилась выручка на 11%. К 2022 году существенно возрос собственный капитал предприятия (+206%) (рис. 2).

Таблица 1

Показатель	Значение показателя					Изменение	
	в тыс. руб.			в % к валюте баланса		тыс. руб.	± %
	31.12.2020	31.12.2021	31.12.2022	31.12.2020	31.12.2022		
Актив							
Запасы	929	4151	3606	49,34	89,61	2677,00	2,88
Денежные средства и денежные эквиваленты	329	337	68	17,47	1,69	-261,00	-0,79
Дебиторская задолженность	625	884	350	33,19	8,70	-275,00	-0,44
Пассив							
Собственный капитал	10	2252	2070	0,53	51,44	2060,00	206,00
Долгосрочные обязательства	1340	3000	1500	71,16	37,28	160,00	0,12
Кредиторская задолженность	533	120	454	28,31	11,28	-79,00	-0,15
Валюта баланса	1883	5372	4024	100	100	2141,00	1,14

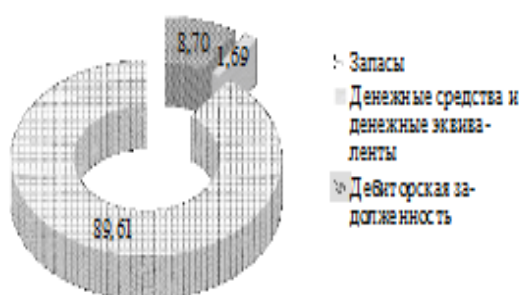


Рис. 2

Значимым показателем, характеризующим финансовое положение субъекта, является величина чистых активов. У ООО "ТД "Ника" на 31.12.2022 г. она составила 51,44% (рис. 3), что полностью соответствует нормативным требованиям к величине чистых активов организации [1].



Рис. 3

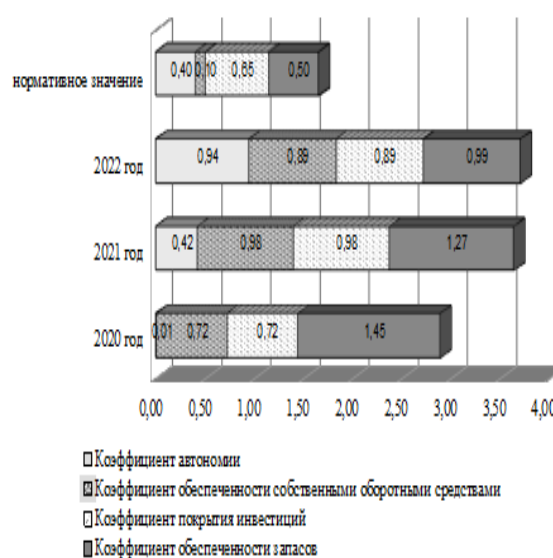


Рис. 4

Для изучения финансовой устойчивости предприятия приведем графические данные по базовым показателям за период 2020-2022 гг. в сравнении с нормативными для текстильной отрасли (рис. 4).

Очевидно, что у данного предприятия на 31.12.2022 года оптимальный для текстильной отрасли коэффициент автономии

(0,94), который свидетельствует о независимости ООО "ТД "Ника" от заемных средств. Следует отметить стабильность коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами в течение всего анализируемого периода (0,72-0,89). Увеличился коэффициент покрытия инвестиций, показывающий долю собственного капитала и долгосрочных обязательств в общей сумме капитала, на 2,4% (0,89) по сравнению с 2020 годом при норме для отрасли – 0,65. Несмотря на то, что в течение всего анализируемого периода отмечено снижение коэффициента обеспеченности

запасов (от 1,45 до 0,99) на 3,2%, данный показатель укладывается в нормативы для текстильной отрасли (от 0,5 и более).

Анализ ликвидности текстильного предприятия показал неоднозначную картину (рис. 5). Так, текущая ликвидность полностью укладывается в нормативные значения и имеет положительную динамику. Однако коэффициенты быстрой и абсолютной ликвидности не укладываются в нормативы к 2022 году. Этот факт свидетельствует о том, что ООО "ТД "Ника" все сложнее становится погашать краткосрочную задолженность своими средствами.

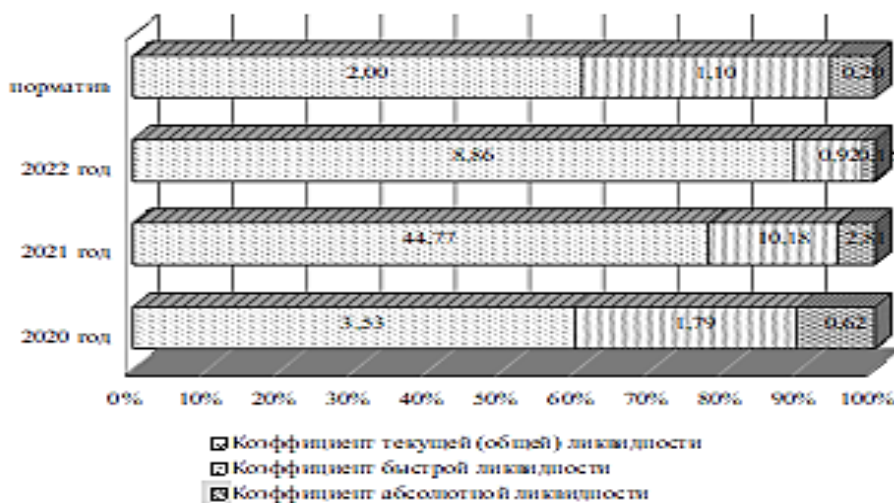


Рис. 5

Для оценки эффективности деятельности предприятия проведен анализ выручки, прибыли и рентабельности за 2020-2022 гг. Несмотря на незначительное снижение выручки и чистой прибыли к 2022 году, показатели рентабельности имеют стабильную тенденцию к росту, что свидетельствует о повышении эффективности всей финансово-хозяйственной деятельности ООО "ТД "Ника" (рис. 6).

Таким образом, можно сделать вывод по итогам проведенного анализа: исследуемое предприятие ООО "ТД "Ника" имеет хорошее финансовое состояние, оно способно отвечать по своим обязательствам в краткосрочной перспективе.

Как было отмечено выше, для обеспечения экономической безопасности современного предприятия необходимо осу-

ществлять мониторинг рисков и угроз, с которыми оно может столкнуться [5, 7, 10]. Нами составлена сводная таблица по этим параметрам для текстильного предприятия (табл. 2). Оценка производилась экспертным методом.

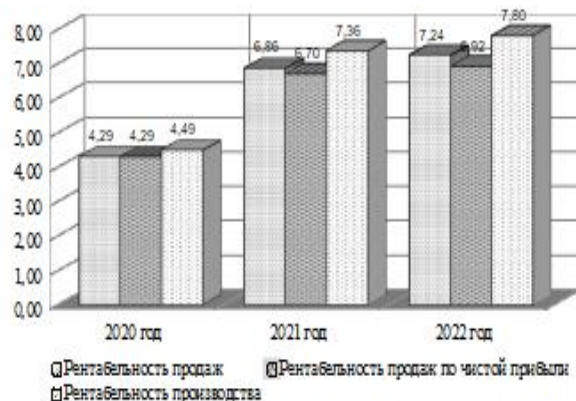


Рис. 6

Риски и угрозы	Последствия для предприятия	Вероятность
Внутренние		
Нарушение технологического цикла	Производственные потери, невыполнение плана	Высокая
Производственный брак	Выпуск некачественной продукции. Повышение себестоимости продукции, сокращение объема товарной продукции	Средняя
Слабый внутренний контроль на предприятии	Наличие хищений. Искажения и ошибки в бухгалтерском учете и отчетности	Средняя
Низкая квалификация персонала	Снижение производительности труда, простои оборудования, увеличение брака	Низкая
Внешние		
Активность конкурентов	Потеря рынков сбыта	Высокая
Недобросовестность контрагентов (поставщиков, подрядчиков)	Выпуск некачественной продукции. Снижение доходов предприятия за счет уменьшения его привлекательности для потребителей	Средняя
Макроэкономические (инфляция, конъюнктура рынка, доходы населения)	Сокращение рынков сбыта. Снижение выручки предприятия	Средняя
Снижение спроса на продукцию	Снижение выручки предприятия	Низкая

В результате качественной оценки вышеуказанных угроз и рисков для исследуемого текстильного предприятия предложены следующие мероприятия по их снижению:

- регулярный анализ конкурентов и повышение собственных конкурентных преимуществ (качество, уникальность, цена);
- своевременная модернизация и обновление производственного оборудования;
- оптимизация производства и запасов;
- повышение квалификации сотрудников;
- разработка системы мотивации сотрудников.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований сделан вывод, что для формирования эффективной системы обеспечения экономической безопасности исследуемого текстильного предприятия ООО "ТД "Ника" необходим комплексный подход к ее разработке. Базовыми и наиболее актуальными составляющими такой системы в современных условиях должны быть: финансовая, кадровая, технологическая и информационная [11]. Причем функционирование системы обеспечения экономической безопасности будет более продуктивным при

наличии на предприятии постоянно действующей службы внутреннего контроля, занимающейся в том числе регулярным мониторингом внутренних и внешних рисков и угроз.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Приказ Минфина России от 28.08.2014 N 84н (ред. от 24.05.2023) "Об утверждении Порядка определения стоимости чистых активов" (Зарегистрировано в Минюсте России 14.10.2014 N 34299). – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (дата обращения 15.09.2023).
2. Шахова И.Ю., Онопук Е.Ю., Сперанский С.Н., Лодойн У. Вопросы цифровизации текстильной промышленности: региональный аспект // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 23...29. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_23.
3. Земсков В.В., Прасолов В.И., Петренко М.Т. Механизм обеспечения финансовой безопасности предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 32...42. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_32.
4. Кормишкина Л.А., Кормишкин Е.Д., Илякова И.Е. Экономическая безопасность организации (предприятия): учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2023. 293 с. – ISBN 978-5-369-01671-8. – DOI: <https://doi.org/10.12737/22946>. – <https://znanium.com/catalog/product/1893977> (дата обращения: 02.10.2023).
5. Уткин А.Ю., Сперанский С.Н., Рябова О.Н., Амаржаргалан Т. Кросс-функциональное управление эффективностью бизнес-процессов текстильного предприятия с использованием сбалансирован-

ной системы показателей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 42...50. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_42.

6. *Невмерзжцкая О.Н., Морозова Т.Ф.* Концептуальные основы управления кадровыми рисками при реализации функций стратегического планирования // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1(397). С. 42...51. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_1_42. –

7. *Суглобов А.Е., Хмелев С.А., Орлова Е.А.* Экономическая безопасность предприятия: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Экономическая безопасность". М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. 271 с. – ISBN 978-5-238-02378-6. – <https://znanium.com/catalog/product/1028650> (дата обращения: 10.09.2023).

8. *Шахова И.Ю., Сперанский С.Н., Темебаатарын А.* Трудовой компонент в экономической безопасности текстильных предприятий Ивановской области // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3(399). С. 25...32. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_25.

9. *Шмелева Н.В.* Экономическая безопасность предприятия: учебное пособие. М.: Изд. дом МИСиС, 2016. 54 с. – ISBN 978-5-906846-00-6. – <https://znanium.com/catalog/product/1240074> (дата обращения: 12.09.2023).

10. *Thomopoulos N.* Demand Forecasting for Inventory Control // Springer. 2016. 183 p.

11. *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.

12. *Backing Britain.* A Manufacturing base for the future. EEF. The Manufacturer's Organisation 2013, London.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Finance of the Russian Federation dated 28.08.2014 N 84n (ed. Dated 24.05.2023) "On approval of the Procedure for Determining the value of net Assets" (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 14.10.2014 N 34299). – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ / (accessed 15.09.2023).

2. *Shakhova I.Yu., Onopyuk E.Yu., Speransky S.N., Lodoin U.* Issues of the textile industry digitalization: regional aspect // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2(404). P. 23...29. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_23. – EDN LIQQJV.

3. *Zemskov V. V., Prasolov V. I., Petrenko M. T.* Mechanism for ensuring financial security of textile

industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2(404). P. 32...42. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_32. – EDN UTOVXT.

4. *Kormishkina L.A., Kormishkin E.D., Ilyakova I.E.* Economic security of an organization (enterprise): textbook. Moscow: INFRA-M, 2023. 293 p. – ISBN 978-5-369-01671-8. – DOI: <https://doi.org/10.12737/22946>. – <https://znanium.com/catalog/product/1893977> (accessed: 02.10.2023).

5. *Utkin A.I., Speransky S.N., Ryabova O.N., Amarzhargalan T.* Cross-functional management of the performance of a textile enterprise business processes using the balanced scorecard // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2(404). P. 42...50. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_42.

6. *Nevmerzhitskaya O.N., Morozova T.F.* Conceptual framework for hr risk management in the implementation of strategic planning functions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 1(397). P. 42...51. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_1_42.

7. *Suglobov A.E., Khmelev S.A., Orlova E.A.* Economic security of the enterprise: textbook. handbook for university students studying in the specialty "Economic security". М.: UNITY-DANA, 2017. 271 p. – ISBN 978-5-238-02378-6. – <https://znanium.com/catalog/product/1028650> (accessed: 09/10/2023).

8. *Shakhova I. Yu., Speransky S.N., Temebaataryn A.* Labour component in the economic security of the ivanovo region textile enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 3(399). P. 25...32. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_25.

9. *Shmeleva N.V.* Economic security of the enterprise: a textbook. Moscow: MISIS, 2016. 54 p. – ISBN 978-5-906846-00-6. – <https://znanium.com/catalog/product/1240074> (accessed: 12.09.2023).

10. *Thomopoulos N.* Demand Forecasting for Inventory Control // Springer. 2016. 183 p.

11. *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.

12. *Backing Britain.* A Manufacturing base for the future. EEF. The Manufacturer's Organisation 2013, London.

Рекомендована кафедрой экономики и прикладной информатики Ивановского филиала Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. Поступила 22.11.23.

УДК 677.024

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_39

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ИЗГИБНОЙ И СДВИГОВОЙ ЖЕСТКОСТИ ЛУБЯНОГО ВОЛОКНА***

**JUSTIFICATION OF THE COMPLEX ASSESSMENT METHOD
OF BENDING AND SHEARING STIFFNESS OF BAST FIBER**

Е.Л. ПАШИН¹, А.В. ОРЛОВ²

E.L. PASHIN¹, A.V. ORLOV²

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
²Костромской государственный университет)

(¹Kostroma State Agricultural Academy,
²Kostroma State University)

E-mail: aorlov@list.ru

В статье указаны перспективные направления использования лубяных волокон как армирующих элементов при производстве композитов, требующих учета при оценке их свойств сдвиговой жесткости. В этой связи при решении вопросов квалиметрии лубяных волокон возникла необходимость учитывать не только изгибную, но и сдвиговую жесткость. На основе известных модельных представлений о сдвиговой прочности композитов для оценки модуля сдвига волокон использовали положения теории С.П. Тимошенко, уточняющие величину прогиба балки в условиях повышенной кривизны за счет проявления касательных напряжений. Установлено, что для определения модулей продольной упругости и сдвига с применением нагружения волокна по схеме трехточечного прогиба необходимо учитывать изменение поперечного сечения анализируемой пробы, зависящее от возникающего усилия для прогиба и свойств волокна. Интегрирование моделей для определения величины прогиба волокна при трехточечном прогибе, вытекающее из теорий Гука и С.П. Тимошенко, позволило разработать алгоритм расчета модулей продольной упругости и сдвига. Экспериментально установлена возможность его реализации. Определение комплексной оценки изгибной и сдвиговой прочности лубяных волокон предусматривает создание программно-аппаратного комплекса для этой цели.

* Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00147)

The article indicates promising directions for using bast fibers as reinforcing elements in the production of composites, which require consideration when assessing their shear stiffness properties. In this regard, when solving problems of bast fiber qualimetry, it became necessary to take into account not only bending, but also shear stiffness... Well-known models of shear resistance of composite materials and theoretical framework developed by S.P. Timoshenko has been used to better estimate the deformation of a composite beam, stressed at the point where its curvature becomes large enough for the tangential stress value to become significant.

We've found that in order to determine longitudinal elasticity and shearing during three-point bending it's necessary to take into account the deformation of the sample's cross-section, which, in turn, depends on the applied force and the mechanical properties of the fiber itself. Integration of models to determine the amount of fiber deflection during three-point deflection, resulting from the theories of Hooke and S.P. Timoshenko, made it possible to develop an algorithm for calculating the modulus of longitudinal elasticity and shear. A proof-of-concept prototype has been created, but further use of this algorithm requires creation of a specialized software and hardware.

Ключевые слова: лубяное волокно, испытание, комплексная оценка, изгибная жесткость, сдвиговая жесткость, прогиб, проба, толщина, модуль Юнга, модуль сдвига.

Keywords: bast fiber, testing, bending stiffness, shear stiffness, bending, thickness, Young's modulus, shear modulus.

В настоящее время наблюдается интерес к использованию лубяных волокон не только в области текстильного производства, но и по направлениям, связанным с применением целлюлозосодержащего волокнистого сырья [1, 2], в том числе при изготовлении биоразлагаемых композитов [3].

Развитие новых направлений диктует необходимость применения эффективных методов квалиметрии при решении задач селекции лубяных культур, организации входного контроля, оптимизации технологического процесса и стандартизации получаемого продукта. Системы квалиметрии базируются на определении свойств волокон, важнейшим из которых является жесткость [4].

При стандартизации льняного волокна и пеньки их жесткость оценивают по обратному ее показателю – гибкости, которую определяют на приборе ГВ по величине прогибов Δ окончаний консольных участков пробы, закрепленной в середине ее длины [5].

Однако практическое использование стандартного метода выявило недостаточную точность определения Δ . Среди причин этого отмечают затруднения при определении середины интервала разброса концов волокнистых комплексов, составляющих пробу, структурную неоднородность пряди, изменчивость сил трения и сцепления волокон между собой [6]. Указанные факторы вызывают вариацию значений гибкости до 100 % и более, что снижает достоверность измерений. Кроме этого существенным недостатком рассматриваемого метода является несоответствие величины прогибов волокна в лабораторных испытаниях изгибам по кривизне, возникающим при получении волокна и эксплуатации готовых материалов [7]. Как правило, деформация при изгибе с формированием большей кривизны не соответствует закономерностям, вытекающим из закона Гука, предусматривающего проявление только упругих деформаций.

В связи с использованием лубяных волокон в качестве армирующего наполни-

теля при производстве композитов [3] появляется необходимость оценки не только изгибной, но и сдвиговой жесткости, которая определяется произведением модуля сдвига G и площади сечения F [8].

Таким образом, существующий метод определения жесткости лубяного волокна на изгиб требует совершенствования не только в части повышения его точности, но и для получения более информативных данных испытания – комплексной оценки изгибной и сдвиговой жесткости волокна.

При обосновании направления решения этой задачи лубяное волокно рассматривали с позиций природного композита в виде сборной конструкции: элементарных волокон как армирующих элементов и склеивающей матрицы, которые в условиях силового поля деформируются. Основными видами нагружения при переработке волокон и их эксплуатации в готовых изделиях являются растяжение и изгиб. При их возникновении, особенно при изгибе с повышенной кривизной, возникает комплекс напряжений, вызывающих деформацию волокна по различным сценариям.

Если между элементарными волокнами связи не разрушены, что характерно для технического волокна из стеблей с недостаточной вылежкой при использовании росной мочки, то при растяжении совокупность волокон деформируется, как упругое тело, с предельным удлинением 2-3 %. Аналогичное явление наблюдается при испытании волокна из стеблей, убранных в полной биологической спелости или при перестое. В этих случаях наличие лигнина вызывает жесткое соединение элементарных волокон, и при растяжении технического волокна, вероятнее всего, оно ведет себя, как упругое тело [9].

При биодеструкции органических веществ, склеивающих элементарные волокна, связи между ними значительно ослабевают. Такое явление имеет место у нелигнифицированного волокна из тресты с хорошей отделяемостью волокна от древесины стеблей, убранных до достижения полной биологической спелости [10]. У такого волокна вследствие возникающих при растягивающих нагрузках касательных

напряжений происходит относительное смещение элементарных волокон – их частичное растаскивание, и деформация возрастает [11].

Исследование указанных случаев поведения при деформировании лубяных волокон под действием внешних нагрузок целесообразно осуществлять с применением моделей нагружения армированных композитов [12]. Наибольший интерес представляет модель сдвигового анализа прочности таких композитов [13], в основе которой лежит оценка сдвиговой прочности раздела «волокно – матрица». Возникающие касательные напряжения определяют сдвиговую устойчивость волокнистой структуры, что важно для комплексной оценки качества волокон. Очевидно, что такая оценка невозможна без учета модуля сдвига G .

С учетом изложенного исследуем возможности одновременного учета изгибной и сдвиговой жесткости.

Для этого рассмотрим два известных подхода по определению изгибной деформации материала, например, трехточечный прогиб Δ балки, имитирующей прядь волокна толщиной h , под действием внешней силы P (рис. 1).

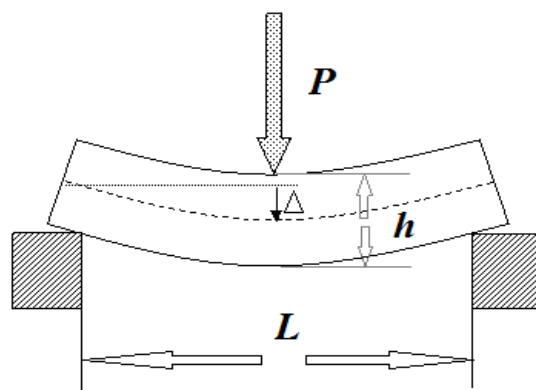


Рис. 1

Один из подходов основан на предположении, что деформирование происходит в условиях упругих деформаций, имеющих место при прогибах с малой кривизной. Тогда максимальный прогиб Δ рассчитывают с учетом модуля продольной упругости (модуль Юнга) E по известной формуле [14]:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}, \quad (1)$$

где P – прилагаемое усилие в середине пряди; L – расстояние между центрами опор; I – момент инерции сечения пряди.

Допуская, что при прогибе пряди волокна сечение имеет вид прямоугольника, у которого $I = (b \cdot h^3)/12$, где b – ширина, h – высота, формулу (1) запишем в виде:

$$\Delta = \frac{PL^3}{4Ebh^3}. \quad (2)$$

Подход, основанный на теории С.П. Тимошенко [15], предусматривает вклад касательных напряжений в величину прогиба. В этом случае при расчете Δ учитывают не только модуль упругости E , но и модуль сдвига G . Проявление сдвиговых явлений усиливается с увеличением кривизны прогибаемого материала в месте приложения нагрузки. Для такого варианта нагружения предложена зависимость [16]:

$$\Delta = \frac{1}{4b} \left(\frac{PL^3}{Eh^3} + \frac{PL}{khG} \right), \quad (3)$$

где G – модуль сдвига; k – сдвиговой коэффициент, зависящий от формы сечения, (для прямоугольного сечения балки $k = 5/6$) [17].

В решении задачи повышения информативности метода оценки жесткости лубяных волокон рассмотрим возможности одновременного учета E и G , опираясь на (3). Сопоставим выражения (2) и (3) при оценке прогиба волокна при трехточечной схеме нагружения. Полагая, что на величину прогиба Δ будут влиять одновременно два упомянутых модуля, в модели (2) величину модуля упругости рассматриваем как условный модуль продольной упругости $E_{\text{экс}}$. Приравняв прогибы, определенные по (2) и (3), получим:

$$\frac{PL^3}{4E_{\text{экс}}bh^3} = \frac{1}{4b} \left(\frac{PL^3}{Eh^3} + \frac{PL}{khG} \right). \quad (4)$$

Преобразованием путем деления каждой части выражения на $(P \cdot L^3)/(4 \cdot b \cdot h^3)$ получим известное выражение [18]:

$$\frac{1}{E_{\text{экс}}} = \frac{1}{E} + \frac{1}{kG} \frac{h^2}{L^2}. \quad (5)$$

Рассматривая структуру (5), заметим, что проявление сдвиговых явлений зависит от величины множителя h^2/L^2 . При неизменном межцентровом расстоянии L на его величину будет влиять толщина прогибаемой пряди h , сечение которой можно считать прямоугольным.

Внимание к параметру h особенно важно, когда прядь подвергается сжатию в поперечном направлении (см. рис. 1). По мере увеличения силы P высота сечения пряди h в месте приложения сил будет уменьшаться. На характер уменьшения высоты сечения также будут влиять свойства испытываемого волокна. Вероятнее всего, эти свойства определяются структурой технического волокна, зависящей от степени вылежки стеблей при получении тресты росяной мочки [9]. В зависимости от степени вылежки стеблей волокно будет иметь различную делимость и мягкость.

Принимая выявленную взаимосвязь степени вылежки тресты с цветом волокна, выраженным группой цвета $ГЦ$ [19] по стандартной методике [20], высоту сечения h следует представлять как расчетную характеристику h_p . Она будет зависеть от силы P и $ГЦ$, то есть $h = f(P, ГЦ)$.

Тогда выражение (5) с учетом $k = 5/6$ при $h = h_p$ примет вид:

$$\frac{1}{E_{\text{экс}}} = \frac{1}{E} + \frac{1,2}{G} \frac{h_p^2}{L^2}. \quad (6)$$

Определение зависимости $h = f(P, ГЦ)$ осуществили посредством двухфакторного эксперимента с применением регрессионного анализа с регистрацией изменения величины h при изменении P и $ГЦ$.

Эксперимент провели по схеме трехточечного прогиба с применением стенда, представленного на рис. 2.

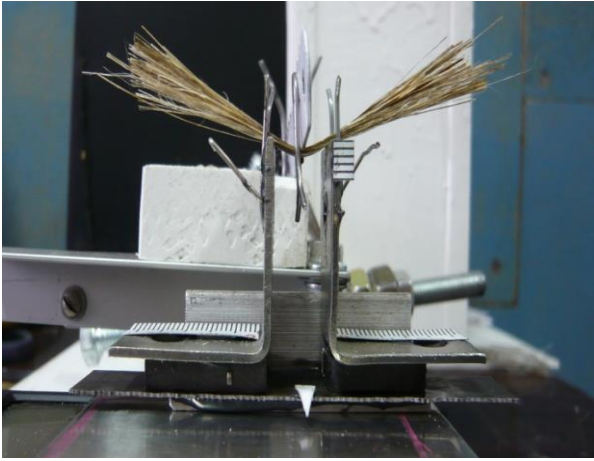


Рис. 2

Исследовали пробы двух партий льняного волокна (1 и 2) с различной группой цвета (I и III). Партия 1 имела группу III (цвет серебристо-серый; волокно получено из стеблей тресты с хорошей степенью вылежки). Партия 2 имела группу I (цвет желто-серый; волокно получено из стеблей недолежалой тресты). Навеска соответствовала массе единицы длины для проб, используемых при стандартных испытаниях льняных волокон, и составила 0,11 г при длине $l = 70$ [20]. Постоянную ширину пробы $b = 6,5$ мм обеспечили посредством ограничителей. В процессе эксперимента при прогибе пробы с использованием средств тензометрии фиксировали усилие P , одновременно получали фотоизображение прогнутого волокна с установленной рядом линейкой. Далее, используя графический редактор GIMP с масштабированием, рассчитывали величину толщины пробы h_p . В итоге получили регрессионную зависимость:

$$h_p = f(P, ГЦ) = 2,079 + 0,190 \cdot ГЦ - 0,021 \cdot P. \quad (7)$$

Данную зависимость применили для определения искомым модулей продольной упругости E и сдвига G на следующем этапе эксперимента с использованием стенда (рис. 2) на примере волокна указанных партий.

Изгиб проб осуществили относительно опор с закругленной кромкой диаметром 1 мм путем приложения нагрузки в середине между центрами опор, расстояние L

между которыми было 9 и 69 мм. При каждом из них формировали одинаковый прогиб Δ по верхнему краю пробы, равный 1 мм. По достижении этого прогиба фиксировали возникающее усилие P посредством тензометрии. Используя (7), рассчитывали h_p , а с учетом этой величины уточняли прогиб $\Delta_{ут}$ нейтральной оси пробы, затем определяли условный модуль упругости $E_{усл}$. Для этого на основе (2) использовали зависимость:

$$E_{усл} = \frac{PL^3}{4\Delta_{ут}bh_p^3}. \quad (8)$$

Согласно (8) для волокна с различной группой цвета определили по два значения условных модулей. Для волокна с группой цвета I: при $L = 9$ мм $E_{усл} = 13,83$ Н/мм²; при $L = 69$ мм $E_{усл} = 214,14$ Н/мм². Для волокна с группой цвета III: при $L = 9$ мм $E_{усл} = 6,47$ Н/мм²; при $L = 69$ мм $E_{усл} = 98,01$ Н/мм².

Зная возникающие усилия в различающихся условиях испытания, для расчета E и G составили систему уравнений на основе (5), каждое из которых представляло результаты при различных значениях L :

$$\begin{cases} \frac{1}{E_{усл}(9)} = \frac{1}{E} + \frac{1,2}{G} \frac{h_p^2(9)}{L_9^2}, \\ \frac{1}{E_{усл}(69)} = \frac{1}{E} + \frac{1,2}{G} \frac{h_p^2(69)}{L_{69}^2}. \end{cases} \quad (9)$$

Решая систему (9) для каждой партии волокна, определили величины модулей E и G (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Номер партии	Модуль продольной упругости, Н/мм ²	Модуль сдвига, Н/мм ²
1	10,2775	0,0956
2	18,4801	0,2048

Полученные результаты во взаимосвязи с (3) позволили объяснить отличия в поведении анализируемых партий при изгибе.

Волокно партии 1, полученное из тресты с хорошей вылежкой (группа цвета III), имеет меньшую сдвиговую жесткость в сравнении с партией волокна из недолежалой тресты, что объясняется особенностями структуры волокна изучаемых партий.

Волокно партии 2 из недолежалой тресты (группа цвета I) при нагружении ведет себя иным образом. Более прочная связь между элементарными волокнами из-за недостаточного разрушения пектиновых соединений вызывает в сравнении с волокном первой партии прирост модуля сдвига и модуля продольной упругости, что проявляется в величине возникающих усилий P при одинаковых значениях прогиба Δ (табл. 2).

Из этого следует, что положения теории С.П. Тимошенко, учитывающие значения модулей E и G , позволяют получать более информативную оценку о жесткости волокна. Зная величину модуля сдвига, мы имеем возможность судить о степени связанности элементарных волокон между собой, что в свою очередь характеризует прядильную способность технического волокна.

Т а б л и ц а 2

Номер партии	Усилие P , Н, при межцентровом расстоянии опор:	
	$L = 9$ мм	$L = 69$ мм
1	0,350	0,022
2	0,700	0,033

ВЫВОДЫ

1. Рассматривая льняное волокно как природный композит с учетом модельных представлений о формировании его сдвиговой прочности, установили целесообразность комплексной оценки волокон по изгибной и сдвиговой жесткости.

2. Для определения модулей продольной упругости и сдвига с применением нагружения волокна по схеме трехточечного прогиба и на основе положений теории С.П. Тимошенко необходимо учитывать изменение поперечного сечения анализируемой пробы, зависящее от возникающего усилия для прогиба и свойств волокна.

3. Интегрирование моделей для определения величины прогиба волокна при трехточечном прогибе, вытекающее из теорий

Гука и С.П. Тимошенко, позволило разработать алгоритм расчета модулей продольной упругости и сдвига. Экспериментально установлена возможность его реализации. Определение комплексной оценки изгибной и сдвиговой прочности льняных волокон предусматривает создание программно-аппаратного комплекса для этой цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боярский А. Может ли Россия стать главным поставщиком льняных тканей в мире // Российская газета – федеральный выпуск. 2022. 20 сент. № 211 (8859).
2. Плеханов А.Ф., Битус Е.И., Виноградова Н.А. и др. Инновационные технологии нетканых материалов // Полимерные материалы. 2009. № 2. С. 30...34.
3. Роговина С.З., Прут Э.В., Берлин А.А. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2019. Т. 61, № 4. С. 291...315.
4. Городов В.В., Лазарева С.Е., Лунев И.Я. и др. Испытания лубоволокнистых материалов. М.: Легкая индустрия, 1969. 208 с.
5. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити): учебник для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1989. 352 с.
6. Пашин Е.Л., Нестерова Т.Н. Недостатки стандартного метода определения гибкости трепаного льняного волокна // Научные приоритеты АПК в России и за рубежом: сб. ст. 72-й науч.-практ. конф. с междунар. участием. Караваево: Костромская ГСХА, 2021. С. 342...350.
7. Цитович И.Г. Теоретические основы стабилизации процесса вязания. М.: Легкая пром-сть, 1984. 136 с.
8. Брытков Е.В. Механика композиционных материалов: учебное пособие. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2012. 74 с.
9. Ордина В.М. Структура лубоволокнистых растений и ее изменение в процессе переработки. М.: Легкая индустрия, 1978. 127 с.
10. Пашин Е.Л. Агропроизводство и технологическое качество льна: моногр. Кострома, ВНИИ ЛК, 2004. 208 с.
11. Федосова Н.М., Вихарев С.М. Влияние технологических приемов и степени вылежки тресты на прочностные характеристики однотипного льняного волокна // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2012. № 2. С. 23...25.
12. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. М.: Машиностроение, 1988.
13. Landis C.M., Beyerlein I.J., McMeeking R.M. Micromechanical simulation of the failure of fiber reinforced composites // J. Mech. Phys. Solids. 2000. No 14. P. 621...648.

14. Мамченко В.О. Расчет балок на прочность и жесткость при прямом плоском изгибе: учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 48 с.

15. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов. М.: Мир, 1976. 669 с.

16. Ричардсон М. Промышленные полимерные композиционные материалы / под ред. П.Г. Бабаевского. М.: Химия, 1980. 472 с.

17. Reissner E. The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates // ASME Journal of Applied Mechanics, 1945. Vol. 12. Pp. A68-A77.

18. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статистических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1981. 272 с.

19. Виноградова А.Е., Ломагин В.Н., Пашин Е.Л. Определение цветовых характеристик волокна при определении качества льняной тресты // Вестник ВНИИЛК. 2003. №1. С. 82...85.

20. ГОСТ Р 53484-2022. Лен трепаный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2022.

REFERENCES

1. Bojarskij A. 'Can Russia become the world's leading flax fabric supplier?' Rossijskaja gazeta – federalnyj vypusk, 2022. No. 211(8859).
2. Plekhanov A.F. et al. 'Innovative technologies of non-woven materials' // Polimernye materialy, 2009, No. 2. P. 30...34.
3. Ragovina S.Z, Prut E.V and Berlin A.A. 'Composite materials based on synthetic polymers reinforced by natural fibers' // Vysokomolekularnye soedinenija. Ser. A., Vol. 61, No. 4, 2019. P. 291-315.
4. Gorodov V.V. et al. Testing of bast fiber based materials. Moscow: Legkaja industrija, 1969. 208 p.
5. Kukin G.N., Soloviev A.N., Kobljakov A.I. Textile materials science (fibers and threads): university textbook. Moscow: Legprombytizdat, 1989.
6. Pashin E.L., Nesterova T.N. Flaws of the standard method of measuring flexibility of flax fiber // Scientific priorities of the agro-industrial complex in Russia and abroad: Compilation of articles of 72 nd scientific-practical conference. Karavaevo: Kostroma State Agricultural Academy, 2021. P. 342...350.
7. Tsitovich I.G. Theoretical basis of spinning process stabilization. Moscow: Legkaja promyshlennost, 1984.
8. Brytkov E.V. Mechanics of composite materials: teaching aide, Baltic state technological university. St. Petersburg, 2012.
9. Ordina V.M. Structure of bast plants and its modification during processing. Moscow: Legkaja industrija, 1978.
10. Pashin E.L. Agricultural manufacture and technological quality of flax: a monograph. Kostroma, VNIILK, 2004.
11. Fedosova N.M., Vikharev S.M. Effect of technological processes and retched flax readiness on structural integrity of homogenous flax fiber // Vestnik KGTU, 2012, No. 2. P. 23...25.
12. Composite materials reference guide, vol. 1 and 2, ed. J. Ljubin. Moscow: Mashinostroenie, 1988.
13. Landis C. M., Beyerlein I.J., McMeeking R.M. Micromechanical simulation of the failure of fiber reinforced composites // J. Mech. Phys. Solids, 2000, No 14. P. 621...648.
14. Mamchenko V.O. Calculating structural integrity and rigidity of beams under straight flat bending: teaching aid, St. Petersburg: NIU ITMO; IKHiBT, 2014.
15. Timoshenko S.P., Gere J. Mechanics of materials. Moscow: Mir, 1976.
16. Richardson M. Industrial polymer composite materials, ed: Babaevsky P.G. Moscow: Khimija, 1980.
17. Reissner E. The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates // ASME Journal of Applied Mechanics, 1945. Vol. 12. P. A68-A77.
18. Tarnopolskij Y.M., Kincis T.Y. Methods of statistical testing of reinforced plastics. Moscow: Khimija, 1981.
19. Vinogradova A.E., Lomagin V.N., Pashin E.L. 'Determining color characteristics of fiber during quality control of retched flax' // Vestnik VNIILK, 2003, No. 1. P. 82...85.
20. GOST R 53484-2022. Scutched flax fibre. Specifications. Moscow: Standartinform, 2022.

Рекомендована кафедрой технических систем в агропромышленном комплексе Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Поступила 16.02.23.

ТКАНЬ ИЗ КОНОПЛИ: СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

HEMP FABRIC: PROPERTIES AND APPLICATION

Р.Ф. КАЮМОВА, Н.Б. ДЕВЯТЬЯРОВА

R.F. KAYUMOVA, Y.M. DEVYTYAROVA

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(Ufa State Petroleum Technological University)

E-mail: karuf1@yandex.ru, devnb@mail.ru

Все больше потребителей одежды по всему миру делают выбор в пользу изделий из экологичных текстильных материалов. Экологические требования к текстилю начинаются с требований к волокнам, без которых пока текстиль не произведешь. Как известно, все природные волокна более экологичные, чем химические искусственные и синтетические. В условиях обострения экологических проблем, связанных с производством и эксплуатацией одежды из текстильных материалов, исследователи продолжают искать альтернативные хлопку материалы.

Особое место среди перспективных экологичных биоразлагаемых текстильных волокон занимает конопля. В настоящее время многие известные бренды одежды, начиная с легендарного Levis, а также Patagonia, Adidas, Hemp Tailor, успешно разрабатывают коллекции одежды из материалов на основе конопли [1...5]. В работе приведены сведения о производстве волокна конопли в России и за рубежом, а также результаты исследований основных эксплуатационных свойств тканей на основе конопли, которые необходимо учитывать в процессе моделирования и пошива модных изделий.

More and more consumers of clothing around the world are opting for products made of eco-friendly textile materials. The environmental requirements for textiles begin with the requirements for fibers, without which you cannot produce textiles yet. As you know, all natural fibers are more environmentally friendly than chemical artificial and synthetic. In the context of the aggravation of environmental problems associated with the production and operation of clothing made of textile materials, researchers continue to look for alternative materials to cotton. Hemp occupies a special place among promising eco-friendly biodegradable textile fibers. Currently, many well-known clothing brands, starting with the legendary Levis, as well as Patagonia, Adidas, Hemp Tailor, are successfully developing clothing collections made of hemp-based materials [1-5].

The paper provides information on the production of hemp fiber in Russia and abroad, as well as the results of studies of the main operational properties of hemp-based fabrics, which must be taken into account in the process of modeling and tailoring fashion products.

Ключевые слова: экологичные ткани, волокна конопли, ткани на основе волокон конопли, альтернатива хлопку, эксплуатационные свойства тканей из конопли.

Keywords: eco-friendly fabrics, hemp fibers, hemp fiber-based fabrics, alternative to cotton, performance properties of hemp fabrics.

Согласно работам академика Н.И. Вавилова основные сорта конопли начали возделывать в Китае и Индии. Ряд исследователей считают коноплю древнейшей культурой, появившейся раньше льна и хлопчатника около 8 тысяч лет назад [1, 2]. Коноплю первоначально возделывали с целью получения наркотических веществ, а затем для получения текстильных волокон.

Производство конопли в России активизировалось с появлением парусного флота, был налажен экспорт конопли в Англию и США. До распада СССР доля производства конопли в нашей стране занимала 87 % мирового рынка. С 1973 года начались работы по созданию сортов конопли, не обладающих наркотическими свойствами, а в 1987 году культивирование конопли на территории страны было запрещено постановлением Совета Министров СССР. В 90-е годы оборудование с нескольких имевшихся в России предприятий по переработке льна и конопли было вывезено в Китай в качестве металлолома. В настоящее время отрасль по выращиванию и производству конопли в России возрождается. Так, в 2021 году площадь, засеянная коноплей, составила 13 300 га, что более чем на 20% больше, чем годом ранее, но это не более 5 % мирового производства [5...6]. Однако пока Россия является крупным импортером конопляного волокна – до нескольких миллионов тонн.

В настоящее время крупнейшим в мире производителем конопли является Китай (70 % мирового производства). Большие площади заняты под посевы в Индии. На небольших площадях коноплю выращивают в Польше, Австрии, Франции, Чили, Пакистане, Турции и других странах [6].

На мировом рынке цена на коноплю более чем в два раза выше, чем на хлопок, а спрос на конопляные ткани растет на 30% ежегодно. Причин тому очень много. Конопля – это высокоурожайная культура, не требующая внесения токсичных пестици-

дов и любых гербицидов. Посевы конопли не истощают, а наоборот, обогащают почву. Экономия воды по сравнению с производством хлопка составляет 75% [5, 6].

На сегодняшний день перечень продуктов из конопли насчитывает согласно разным источникам 25-30 тысяч наименований. Это сырье для медицинской, пищевой, косметической, текстильной, легкой, бумажной, строительной, авиационной, военной, топливной и других отраслей промышленности [7...9].

В ряде научных работ исследуются физико-механические свойства волокон конопли [9...12]. Свойства же материалов из конопли изучены не в полной степени. При этом во многих случаях выбор моделей изделий из конопли носит случайный характер. Авторы провели исследования ряда эксплуатационных свойств ткани из конопляных волокон, а также предложили рекомендации по моделированию одежды.

На начальной стадии исследования свойств тканей был проведен экспертный опрос специалистов в области текстильной промышленности и потенциальных потребителей одежды из конопляных тканей. В результате использованного метода априорного ранжирования среди наиболее значимых показателей свойств материала были выбраны следующие: толщина, прочность и удлинение на разрыв, усадка, несминаемость, стойкость к истиранию и воздухопроницаемость.

Для исследования выбрана тонкая плательная ткань из конопли (сорт посконь) промышленного производства отбеленная, немерсеризованная и неокрашенная. Для сравнения использована гладкокрашенная хлопчатобумажная ткань, близкая по показателям плотности по основе и утку и поверхностной плотности. Обе ткани полотняного переплетения. Результаты исследований структурных и физико-механических свойств тканей приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Материал серии образцов	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Линейная плотность пряжи (фактическая), текс (основа/уток)	Плотность ткани по основе/утку, нитей/дм
Конопляная ткань	0,23	114	45/45	230/230
Хлопчатобумажная ткань	0,20	112	35/20	230/280
Оборудование и приборы, используемые для измерения показателей	Автоматический цифровой толщиномер TF121C	Весы лабораторные VIBRA ALE-2202	Весы лабораторные VIBRA ALE-2202	Текстильные лупы, препарировальные иглы, пинцет

Таблица 2

Материал серии образцов	Жесткость на изгиб, мкН/см ² (основа/уток)	Жесткость на изгиб (после 5 стирок), мкН/см ² (основа/уток)	Усадка после стирки, % (основа/уток)	Прочность на разрыв, Н	Относительное удлинение при разрыве, % (основа/уток)	Стойкость к истиранию, циклы	Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с, при p = 49 Па
Конопляная ткань	908,2/ 745,4	748,5/ 608,4	1,5/1	345/189	10/11	После 5000 циклов первые внешние признаки износа	607
Хлопчатобумажная ткань	762,5/ 409,4	701,4/ 370	2,5/1,5	273/101	8/22	После 2750 циклов заметные признаки поверхностного износа	480
Оборудование для испытания	ПТ-2		Прибор для TF418 Washing Fastness Tester.	Разрывная машина РМ-250	TF210-A F 210A Martindale Abrasion and Pilling Tester.	SA 164 E	

При испытаниях жесткости на изгиб конопляная ткань оказалась более жесткой, чем хлопчатобумажная ткань. Однако после проведенных 5 стирок с высушиванием жесткость на изгиб обеих тканей незначительно уменьшилась.

В ряде работ указано, что прочность на разрыв ткани из конопли более чем в три раза превышает прочность хлопчатобумажной ткани [9]. Согласно полученным результатам прочность при разрыве конопляной ткани существенно выше, чем у хлопчатобумажной. В направлении утка конопляная ткань почти не тянется, это подтверждает сведения о низкой эластичности тканей из конопли. Исследователи также отмечали, что конопляная ткань практически не подвержена усадке [10, 11]. Проведенные авторами исследования показали мини-

мальную величину усадки в продольном и поперечном направлении ткани из конопли в сравнении с хлопчатобумажной тканью. Как отмечали исследователи, конопляная ткань не теряет прочности после стирок и становится мягче [9...11]. Испытания исследуемого материала на жесткость при изгибе после 5 стирок с последующим высушиванием показали незначительное снижение показателей (табл. 2).

Отдельные авторы также отмечают, что многократное приутюживание складок не способствует сохранению формы, но приводит к потере прочности ткани на сгибах [9, 12].

Прочность на истирание конопляной ткани оказалась значительно более высокой в сравнении с хлопчатобумажной тканью. Внешние признаки износа проявлялись

лишь после 5000 циклов истирания, что также согласуется с данными, полученными зарубежными исследователями [9, 10].

Кроме того, проводились испытания ткани на драпируемость дисковым методом и несминаемость на приборе СТ-1. По результатам испытаний ткань на основе конопли можно отнести к сильно сминаемым (несминаемость 42%) и плохо драпируемым (коэффициент драпируемости 40%). Высокая воздухопроницаемость конопляных тканей отмечена многими исследователями [3...5]. Показатель воздухопроницаемости в проведенных авторами исследованиях оказался достаточно высоким при сопоставлении с хлопчатобумажной тканью.

ВЫВОДЫ

Исходя из результатов исследований рекомендуется изготавливать из ткани на основе конопли изделия преимущественно летнего ассортимента простые по конструкции и форме с мягкими складками без оборок и драпировок. Детали четких форм (воротники, манжеты и т.д.) будут требовать регулярного приутюживания. Учитывая высокие показатели прочности на разрыв и истирание, а также низкий показатель усадки, можно проектировать изделия, рассчитанные на длительный срок эксплуатации. А чтобы изделие «не надоело» за долгий срок эксплуатации, рекомендуется создавать модели с трансформацией и взаимозаменяемыми деталями, а также с возможностью менять длину и ширину изделия в процессе носки. Удачным может быть использование в одном изделии деталей из тканей-компаньонов различных цветов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каюмова Р.Ф. Управление ассортиментом на малых предприятиях легкой промышленности Республики Башкортостан // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1 (373). С. 10...14.
2. Конопля. Прошлое. Настоящее. Будущее? – <https://cyberleninka.ru/article/n/konoplya-proshloe-nastoyashee-budushee> (дата обращения 1.09.2023)
3. Симонян А.Г., Бутко Т.В. Исследование свойств материалов из волокон конопли // Сборник

научных трудов Международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения проф. А.П. Жихарева. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. С. 151...155.

4. Тюменцева Е.Ю., Мамелина Н.Ф. Исследование свойств современных экологических тканей // Безопасность городской среды: материалы VI Международ. науч.-практ. конф. Омск, ноябрь 2018 г. Омск, 2019. С. 606...610.

5. Кричевский Е.Г. Зеленый текстиль // Физика волокнистых материалов: структура, свойства. Научно-технологические материалы (SMARTEX). Иваново: ИВГПИУ, 2019. № 1-1. С. 157...166

6. Пантюшина О.В. О потребительских свойствах новых лубяных волокон // Вестник торгово-технологического института. 2010. № 3. С. 36...41.

7. Каюмова Р.Ф., Будеева О.Н. Исследование эргономических и эксплуатационных свойств специальной одежды для нефтяников // Дизайн и технологии. 2018. № 68 (110). С. 23...28.

8. 50 удивительных фактов о технической конопле. – <https://vc.ru/future/418995-50-udivitelnyh-faktov-o-tehnicheskoy-konople> (дата обращения 28.08.2023)

9. Hemp fiber: the ideal fiber for future / Hetal Mistry // Textile Value Chain. Volume 8. June 2020. P. 56...62. – <https://textilevaluechain.in/news-insights/hemp-fibre-the-ideal-fibre-for-future/> (дата обращения 28.08.2023)

10. Shuvo I.I. Fibre attributes and mapping the cultivar influence of different industrial cellulosic crops (cotton, hemp, flax, and canola) on textile properties. - // Bioresour. Bioprocess. 2020. N 7. P. 1...28. – <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-020-00339-1#citeas> (дата обращения 29.08.2023)

11. Gudulkar P. List of Eco-friendly Fibers in Textile Industry: Properties and Application [Электронный ресурс] URL: <https://textilelearner.net/eco-friendly-fibres-in-textile-industry/> (дата обращения 28.08.2023)

12. Subhankar M. Thermal Resistance and Moisture Management Behaviour of Nettle/Polyester Nonwoven Fabrics // Tekstilec. 2019. N 62(4). P. 258...268. – <http://www.tekstilec.si/wp-content/uploads/2019/11/10.14502-Tekstilec2019.62.258-268.pdf> (дата обращения 28.08.2023)

REFERENCES

1. Kayumova R.F. Assortment management at small enterprises of light industry of the Republic of Bashkortostan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018, No. 1 (373). P. 10...14.
2. Cannabis. The past. Present. The future? – <https://cyberleninka.ru/article/n/konoplya-proshloe-nastoyashee-budushee> (accessed 1.09.2023)
3. Simonyan A.G., Butko A.G. Investigation of the properties of materials from hemp fibers // Collection of scientific papers of the International Scientific Confe-

rence dedicated to the 75th anniversary of the birth of prof. A.P. Zhikharev. – Moscow, 2023. pp. 151...155.

4. *Tyumentseva E.Yu. Mamelina E.Yu.* Investigation of the properties of modern ecological fabrics // Safety of the urban environment: materials of the VI International Scientific and Practical Conference (Omsk, November 2018). – Omsk, 2019. pp. 606...610.

5. *Krichevsky E.G.* Green textiles. // Physics of fibrous materials: structure, properties. High-tech technologies and materials (SMARTEX). - 2019, No. 1-1. P. 157...166.

6. *Pantyushina O.V.* On consumer properties of new bast fibers // Bulletin of the Trade and Technological Institute. 2010. No. 3. P. 36...41.

7. *Kayumova R.F. Budeeva O.N.* Research of ergonomic and operational properties of special clothing for oilmen // Design and Technology. 2018, No. 68 (110). P. 23...28.

8. 50 amazing facts about technical cannabis <https://vc.ru/future/418995-50-udivitelnyh-faktov-otekhnicheskoy-konople> (accessed 28.08.2023)

9. Hemp fiber: the ideal fiber for future / Hetal Mistry // Textile Value Chain. Volume 8. Jipe 2020. P. 56...62. – <https://textilevaluechain.in/news-insights/hemp-fibre-the-ideal-fibre-for-future/> (accessed 28.08.2023)

10. *Shuvo I.I.* Fibre attributes and mapping the cultivar influence of different industrial cellulosic crops (cotton, hemp, flax, and canola) on textile properties. - // Bioresour. Bioprocess. 2020. N 7. P. 1...28. – <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-020-00339-1#citeas> (accessed 29.08.2023)

11. *Gudulkar P.* List of Eco-friendly Fibers in Textile Industry: Properties and Application [Electronic resource] URL: <https://textilelearner.net/eco-friendly-fibres-in-textile-industry/> (accessed 28.08.2023)

12. *Subhankar M.* Thermal Resistance and Moisture Management Behavior of Nettle/Polyester Nonwoven Fabrics // Tekstilec. 2019. N 62(4). P. 258...268. – <http://www.tekstilec.si/wp-content/uploads/2019/11/10.14502-Tekstilec2019.62.258-268.pdf> (accessed 28.08.2023)

Рекомендована кафедрой технологии и конструирования одежды Уфимского государственного нефтяного технического университета. Поступила 07.09.23.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_50

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН РАЗЛИЧНОГО СЫРЬЕВОГО СОСТАВА ДЛЯ ПОШИВА БЕЛЬЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СВАРЩИКОВ

COMPARATIVE ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF KNITTED FABRICS OF DIFFERENT RAW MATERIAL COMPOSITIONS FOR SEWING LINEN PRODUCTS FOR WELDERS

В.Д. БЕЛИКОВА, Ю.С. ШУСТОВ

V.D. BELIKOVA, YU.S. SHUSTOV

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: bvd31@mail.ru

В статье представлены образцы трикотажных полотен различных составов, используемых при пошиве бельевых изделий для сварщиков. Для исследования выбраны физико-механические и эргономические показатели. Рассмотрено влияние волокнистого состава на выбранные свойства рассматриваемых материалов. Исследовано изменение характеристик этих

полотен после 5, 10 и 15 стирок. Построена диаграмма расчета комплексного показателя. Определен комплексный показатель для каждого образца. На основании полученных данных проанализировано изменение комплексного показателя качества рассматриваемых материалов в зависимости от числа стирок. Выявлены несоответствующие образцы и образцы с оптимальным набором характеристик. Также обоснована необходимость дальнейшего исследования зависимостей характеристик выбранных материалов от реальных условий эксплуатации.

The article presents samples of knitted fabrics of various compositions used in sewing linen products for welders. Physical, mechanical and ergonomic indicators were selected for the study. The influence of the fibrous composition on the selected properties of the materials under consideration is considered. The change in the characteristics of these fabrics after 5, 10, and 15 washes was studied. As a result, a diagram for calculating the complex indicator was constructed. A complex indicator was calculated for each sample. Based on the data obtained, the change in the complex quality indicator of the materials under consideration was analyzed depending on the number of washes. Non-conforming samples and samples with an optimal set of characteristics were identified. The need for further research into the dependences of the characteristics of selected materials on actual operating conditions has also been identified.

Ключевые слова: сварка, сварщик, физико-механические свойства, бельевые изделия, комплексный показатель.

Keywords: welding, welder, physical and mechanical properties, linen products, complex indicator.

Для создания оптимальной защитной одежды сварщика необходимо учитывать ряд требований, которые должны быть соблюдены при ее производстве. Для этого необходимо комплексно оценить свойства материалов на соответствие требованиям безопасности, комфорта и эргономики работника.

Целью работы является исследование физико-механических свойств различных трикотажных полотен для пошива бельевых изделий для сварщиков.

В качестве объектов исследования выбраны несколько образцов трикотажных полотен различных торговых марок. Основные характеристики исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Для оценки безопасности и качества представленных материалов проведены испытания образцов на гигроскопичность, воздухопроницаемость, разрывную нагрузку и разрывное удлинение вдоль петельных столбцов и вдоль петельных рядов, а также

эти показатели определены после носки и 5, 10 и 15 стирок [1...9]. Выбор такого количества стирок определен исходя из того, что в реальных условиях при регулярном использовании изделие подлежит стирке после каждого рабочего дня. Таким образом, 15 стирок будут соответствовать износу после одного месяца эксплуатации. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

№ образца	Сырьевой состав	Плотность материала, г/м ²
Образец №1	100% хлопок	250
Образец №2	65% хлопок, 35% полиэфир	250
Образец №3	100% полиэфир	135
Образец №4	100% вискоза	180
Образец №5	65% полиэфир, 35% хлопок	120
Образец №6	70% хлопок, 30% эластан	180

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Наименование показателя	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5	Образец №6
Исходные образцы							
1	Гигроскопичность, %	9,7	8,4	1,2	7,4	3,1	9,3
2	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	289	263	248	209	208	258
3	Разрывная нагрузка вдоль петельных столбцов, Н	711	915	970	657	790	732
4	Разрывное удлинение вдоль петельных столбцов, мм	503	703	719	523	721	587
5	Разрывная нагрузка вдоль петельных рядов, Н	87	81	94	75	74	86
6	Разрывное удлинение вдоль петельных рядов, мм	241	178	187	371	286	197
После 5 стирок							
7	Гигроскопичность, %	9,7	8,2	1,2	7,2	3,1	9,4
8	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	295	279	257	218	223	270
9	Разрывная нагрузка вдоль петельных столбцов, Н	701	907	961	652	786	725
10	Разрывное удлинение вдоль петельных столбцов, мм	600	704	727	535	725	599
11	Разрывная нагрузка вдоль петельных рядов, Н	81	77	92	72	70	77
12	Разрывное удлинение вдоль петельных рядов, мм	248	186	191	378	290	223
После 10 стирок							
13	Гигроскопичность, %	9,8	8,4	1,1	7,2	3,2	9,4
14	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	301	283	258	222	227	273
15	Разрывная нагрузка вдоль петельных столбцов, Н	682	885	957	647	780	720
16	Разрывное удлинение вдоль петельных столбцов, мм	615	717	730	550	732	603
17	Разрывная нагрузка вдоль петельных рядов, Н	75	73	90	67	68	72
18	Разрывное удлинение вдоль петельных рядов, мм	250	188	195	382	297	229
После 15 стирок							
19	Гигроскопичность, %	9,9	8,4	1,1	7,2	3,2	9,4
20	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	305	289	261	226	231	281
21	Разрывная нагрузка вдоль петельных столбцов, Н	671	871	953	640	770	717
22	Разрывное удлинение вдоль петельных столбцов, мм	530	724	731	554	738	609
23	Разрывная нагрузка вдоль петельных рядов, Н	72	70	86	63	64	68
24	Разрывное удлинение вдоль петельных рядов, мм	261	190	197	384	302	236

Для проведения комплексной оценки показатели качества были переведены в относительные.

Комплексная оценка проводилась путем сравнения площадей многогранника, построенного для каждого трикотажного полотна. Площадь каждого многоугольника

складывается из площадей треугольников, образующих фигуру [10]. Соответственно, чем больше площадь фигуры, тем образец лучше по совокупности свойств. Площадь треугольника рассчитывалась по формуле Герона:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}. \quad (1)$$

Результаты расчета площадей треугольников для каждого трикотажного полотна приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
Исходные образцы					
32,472	32,472	32,472	32,472	32,472	32,472
После 5 стирок					
22,230	22,823	23,377	23,182	23,197	24,283
После 10 стирок					
22,487	23,374	22,455	22,779	24,306	24,182
После 15 стирок					
22,883	22,545	22,064	22,584	23,548	23,932

По результатам расчета площадей многоугольников получены диаграммы, представленные на рис. 1. Таким образом, на основании полученных данных можно

наглядно увидеть изменение комплексного показателя качества рассматриваемых материалов.

Диаграмма сравнения комплексного показателя

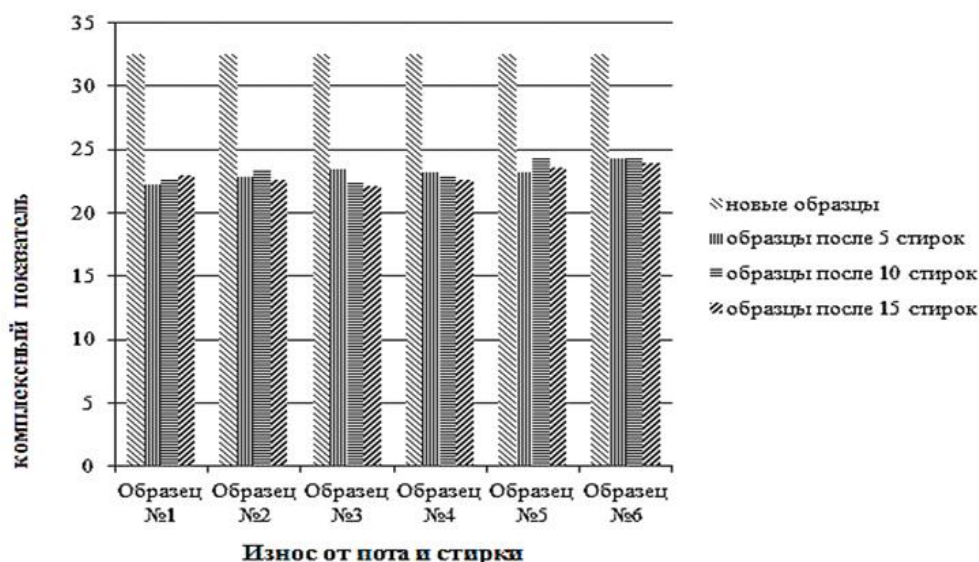


Рис. 1

ВЫВОДЫ

В результате комплексной оценки трикотажных полотен для бельевых изделий сварщиков выявлено, что наибольшей площадью обладают многоугольники, соответствующие образцам №5 и №6. Следовательно, данные трикотажные полотна являются наиболее оптимальными по физико-механическим свойствам с учетом кинетики износа от пота и стирки, а наихудшими являются трикотажные полотна №1 и №3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов А.В. Требования к защитной одежде сварщика // Охрана труда в промышленности. 2019. № 2. С. 45...48.
2. Термостойкие огнезащитные волокна и изделия из них. Обз. инф. Сер. «Промышленность хим. волокон». М.: НИИТЭХим. 2009. 107 с.
3. Шмаков Ю.М. Сварочные материалы и технологии. М.: Металлургия, 1986.
4. Personal protective equipment for welders. OSHA. – <https://www.osha.gov/SLTC/weldingcutting/brazing/personalprotectiveequipment.html> (дата обращения: 10.06.2023).

5. What Is Welding PPE and What Should You Wear? Safeopedia. – <https://www.safeopedia.com/definition/503/welding-ppe-personal-protective-equipment> (дата обращения: 10.06.2023).

6. Анненкова Е.Г., Грудов П.П., Дегтяренко Н.С., Имшенник К.П. Справочник металлста. Т. 4. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. С. 278...286.

7. Черный В.Н. Технология сварки. М.: Высшая школа, 1989.

8. Дорофеев А.С. Новые материалы для защитной одежды сварщика // Материаловедение и технологии. 2020. Т. 28. № 2. С. 20...24.

9. Калинин В.П. Инновации в материалах для защитной одежды сварщика // Материаловедение и технологии. 2019. Т. 27, № 3. С. 12...15.

10. Шустов Ю.С. Современные методы прогнозирования свойств текстильных материалов. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. С. 33...43.

REFERENCES

1. Konstantinov A.V. Requirements for welder protective clothing // Labor protection in industry. 2019. No. 2. P. 45...48.

2. Heat-resistant fire-resistant fibers and products made from them. Review inf. Ser. "Chemical industry fibers". М.: НИТЕКhim. 2009. 107 p.

3. Shmakov Yu.M. Welding materials and technologies. Moscow: Metallurgy, 1986.

4. Personal protective equipment for welders. OSHA. – <https://www.osha.gov/SLTC/weldingcuttingbrazing/personalprotectiveequipment.html> (дата обращения: 10.06.2023).

5. What Is Welding PPE and What Should You Wear? Safeopedia. – <https://www.safeopedia.com/definition/503/welding-ppe-personal-protective-equipment> (дата обращения: 10.06.2023).

6. Annenkova E.G., Grudov P.P., Degtyarenko N.S., Imshennik K.P. Metalhead's Handbook. Volume 4. Moscow: State scientific and technical publishing house of mechanical engineering literature, 1961. P. 278...286.

7. Cherny V.N. Welding technology. Moscow: Higher School, 1989.

8. Dorofeev A.S. New materials for welder's protective clothing // Materials Science and Technology. 2020. T. 28. No. 2. P. 20...24.

9. Kalinin V.P. Innovations in materials for welder's protective clothing // Materials Science and Technology. 2019. T. 27. No. 3. P. 12...15.

10. Shustov Yu.S. Modern methods for predicting the properties of textile materials. Moscow: RSU im. A.N. Kosygina, 2018. P. 33...43.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина. Поступила 12.10.23.

УДК 677.017.855

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_54

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНЫХ СТИРОК НА АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНЕЙ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ*

RESEARCH OF REPEATED WASHING INFLUENCE ON THE ANTISTATIC PROPERTIES OF FABRICS FOR WORKWEAR

В.Г. МАРЧЕНКО, Д.Б. РЫКЛИН

V.G. MARCHENKO, D.B. RYKLIN

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: veronika1300@mail.ru, ryklin-db@mail.ru

Цель работы заключается в установлении зависимости удельного поверхностного электрического сопротивления тканей специального назначения от количества циклов стирок. В результате проведенных исследований

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

определено влияние стирок на изменение удельного поверхностного сопротивления тканей, содержащих стальное волокно Bekinox. Установлено, что до пятой стирки изменение данного показателя является статистически незначимым. Получены регрессионные модели, описывающие зависимость удельного поверхностного электрического сопротивления исследуемых тканей от количества стирок. Установлено, что значение данного показателя для двух образцов антистатических тканей постепенно повышается с увеличением количества циклов стирок. Прогнозируется, что и после 50 стирок исследуемые ткани соответствуют требованиям, предъявляемым к антистатическим текстильным материалам. В результате исследований фотографии срезов тканей установлено, что структура ткани образцов стабильна. В качестве возможных причин снижения антистатических свойств тканей можно выделить потерю и коррозию стальных волокон в процессе стирок, а также повышение ворсистости пряжи.

The purpose of the work is to establish the dependence of the specific surface electrical resistance of special-purpose fabrics on the number of washing cycles. As a result of the research, the effect of washing on the change in the specific surface resistance of fabrics containing Bekinox steel fiber was determined. It was found that until the fifth wash, the change in this indicator is statistically insignificant. Regression models were obtained that describe the dependence of the specific surface electrical resistance of the fabrics under study on the number of washes. It was found that the value of this indicator for two samples of antistatic fabrics gradually increases with an increase in the number of washing cycles. It can be predicted that even after 50 washes, the fabrics under study meet the requirements for antistatic textile materials. As a result of studies of tissue sections photographs, it was found that the tissue structure of the samples is stable. Possible reasons for the decrease in the antistatic properties of fabrics include the loss and corrosion of steel fibers during washing, as well as an increase in yarn hairiness.

Ключевые слова: антистатические свойства, многократные стирки, удельное поверхностное электрическое сопротивление, регрессионные модели, структура тканей.

Keywords: antistatic properties, repeated washing, specific surface electrical resistance, regression models, fabric structure.

Введение

Традиционные текстильные материалы способны накапливать статическое электричество, которое может стать причиной взрыва, воспламенения на предприятиях ряда отраслей, нарушить работу электронного оборудования и пр. Для защиты работающих от опасного и вредного воздействия статического электричества применяют средства индивидуальной защиты, к которым относят специальную антиэлектростатическую одежду. В литературе отмечается,

что существует два основных способа снятия статического электричества со спецодежды [1]:

- распределение заряда с места скопления по площади всей ткани и обеспечение его стекания;
- нейтрализация (гашение) заряда.

Первое обеспечивается тканями с металлическими (Bekinox) нитями, нитями с металлизированным (R.Stat/S) или углеродным (Resistat) покрытием. Второе происходит за счет наличия в структуре ткани угле-

родосодержащих нитей Nega-Stat, которые нейтрализуют заряд путем его индукции и воздушной ионизации [1].

Требования к спецодежде для защиты от статического электричества приведены в ГОСТ 12.4.124-83. В соответствии с этим стандартом удельное поверхностное электрическое сопротивление для материалов, применяемых для спецодежды, не должно превышать 10^7 Ом.

В результате эксплуатации спецодежда подвергается различным видам загрязнения. Стирка, чистка – неперенные условия пользования спецодеждой, так как они способствуют сохранению и удлинению сроков ее использования. Соблюдение специально разработанных рекомендаций по стирке, чистке и сушке позволяет сохранять защитные свойства спецодежды [2]. Однако в большинстве работ, посвященных исследованию влияния стирок на эксплуатационные свойства тканей специального назначения, оцениваются только основные показатели, такие как усадка, прочность, стойкость к истиранию, устойчивость окраски и т.д. Ряд работ посвящен изучению изменения свойств тканей, определяющих их функциональное назначение.

В работе [3] исследовались воздухопроницаемость, водопоглощение, маслопоглощение тканей специального назначения для защиты от общих производственных загрязнений. Ткани подвергали 50 стиркам по стандартной методике. В процессе стирки происходит вымывание пропитки, а также волокон пряжи, поэтому воздухопроницаемость тканей увеличивается. После многократных стирок происходит увеличение поглощения масла и водопоглощения.

Влияние многократных стирок на свойства текстильных материалов для одежды работников авторемонтных предприятий отражено в работе [4]. В данной работе исследована кинетика изменения физико-механических свойств тканей для рабочей одежды в процессе многократных воздействий "замачивание – стирка – сушка – глажение". Количество циклов испытаний также составило 50. После стирок определялись такие показатели, как разрывная нагрузка, масло-

отталкивание, стойкость к проколу, воздухопроницаемость, стойкость к истиранию, изменение линейных размеров. С увеличением количества стирок снижается разрывная нагрузка, маслоотталкивание, а также ухудшается стойкость к истиранию. Несмотря на это все ткани достаточно хорошо проявляют стойкость к проколам. С увеличением количества стирок растет воздухопроницаемость всех образцов. В процессе эксплуатации под воздействием изнашивающих факторов увеличивается пористость текстильных материалов, кроме того, при стирках происходит разрушение и вымывание волокон, утрачиваются защитные пропитки. У всех образцов тканей наблюдается уменьшение линейных размеров после стирок (усадка).

В работе [5] исследовано поведение тканей и трикотажных полотен во время их стирки. В процессе испытаний шести различных текстильных материалов оценивалось влияние условий стирки и химических жидких смягчителей на механические свойства текстильных материалов. Определено влияние температуры стирки на изменение массы и толщины материалов, а также на их гибкость. Установлено, что с увеличением температуры стирки увеличивается масса и толщина всех испытуемых образцов. Повышение температуры влияет также на снижение эластичности текстильных материалов, а обработка их смягчителем немного увеличивает гибкость.

Результаты исследований влияния многократных стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды также описаны в ряде источников. Так, в работе [6] исследовалось влияние многократных стирок на антистатические свойства тканей и трикотажных полотен с содержанием электропроводящих компонентов. Для образцов определялись удельное поверхностное электрическое сопротивление и эффективность экранирования до стирок и после пяти циклов стирки. Стирка и сушка проводились по стандарту EN ISO 6330: 2002. В результате проведенных исследований установлено, что испытанные ткани соответствуют требованиям стандарта EN 1149-5, однако удель-

ное поверхностное электрическое сопротивление заметно снижается после пяти циклов стирки. Такая разница в значениях объясняется возможной потерей волокон из нержавеющей стали после стирок.

В то же время чаще всего специальная одежда подвергается значительно большему количеству циклов стирок, чем нормируемое значение. Исходя из этого существенный интерес представляет исследование характера изменения антистатических свойств тканей после стирок, превышающих пятикратное количество циклов. На полученные результаты может влиять вид отделки и расположение антистатических нитей, что также является предметом для изучения.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования в данной работе выбраны ткани производства ОАО «Моготекс», содержащие пряжу с вложением 10 % волокна Bekinox. Данный

вид сырья представляет собой штапельное волокно из нержавеющей стали, благодаря чему скорость распределения и стекания заряда с поверхности содержащей его ткани значительно превышает значения соответствующих показателей аналогов. Ткани с вложением стальных волокон имеют удельное сопротивление в диапазоне $10 \dots 10^5$ Ом, что характеризует такие ткани как антистатические. Исследования показали, что требуемый уровень антистатических свойств тканей достигается при содержании в них 0,2 % стального волокна в том случае, если антистатические нити сочетаются с пряжей из синтетических волокон. При вложении натуральных волокон содержание стальных волокон может быть еще снижено [7].

В исследуемых образцах ткани антистатические нити располагались по основе и по утку с шагом 10 мм. Характеристика испытуемых образцов представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Артикул	Поверхностная плотность, г/дм ³	Переплетение	Состав без учета антистатической нити	Вид отделки
06С27-КВ	263	Саржа 2/2	Хлопок –74%; полиэфирное волокно – 26%	Масловодоотталкивающая отделка
14С5-КВ	271	Саржа 3/1	Хлопок – 42 %; полиэфирное волокно – 58 %	Нефтемасловодоотталкивающая отделка

Устойчивость защитных свойств материалов к мокрым обработкам (стиркам) определяется по ГОСТ 11209-2014. Многократные стирки проводились в стиральной машине автоматической бытовой с горизонтальным расположением барабана. Для проведения испытания использовался стиральный порошок универсальный без отбеливателей, энзимов, усилителей, отдушек, антистатических и других дополнительных веществ торговой марки Чистаун Organic.

Режимы мокрой обработки приведены в табл. 2.

Глажение образцов проводилось непосредственно после отжима при использовании электрического утюга. Температура глажения ткани соответствовала виду используемого сырьевого состава. Далее образцы высушивались в сушильном шкафу и выдерживались в нормальных условиях.

Т а б л и ц а 2

Этап обработки	Режим обработки
СТИРКА: – время стирки, мин – температура, °С – модуль ванны	30 60±3 1:30
ПОЛОСКАНИЕ: – количество циклов	5
ОТЖИМ: – время отжима, мин – скорость вращения, об/мин	5 500

Удельное поверхностное электрическое сопротивление образцов тканей определяется по ГОСТ 19616-74. Данный показатель определялся с помощью прибора ИЭСТП-2. Образцы испытывались до стирок, с первой по десятую стирку после каждой, а также после 15-й и после 20-й стирки.

Результаты и обсуждения

Установлено, что после 20 стирок образцы тканей имеют низкое значение удельного поверхностного электрического сопротивления, что позволяет считать их антистатическими.

По полученным результатам построены следующие регрессионные модели:

- для образца 06С27-КВ:

$$Y = 38309 \sqrt{1 + 0,44n},$$

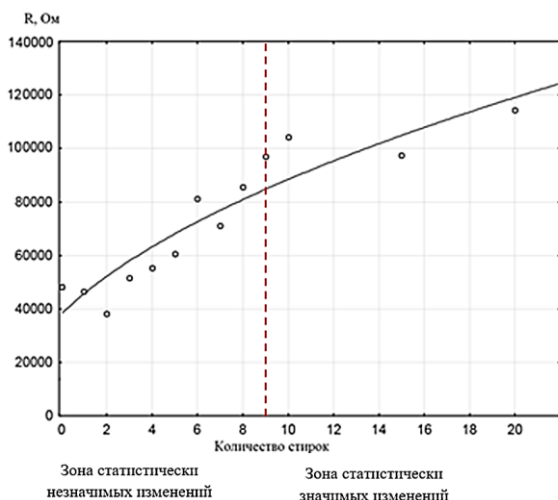


Рис. 1

Следует отметить, что в международном стандарте ГОСТ EN 1149-1-2018 «Одежда специальная защитная. Электростатические свойства. Часть 1. Метод испытания для измерения удельного поверхностного сопротивления» указывается на то, что применяемый метод дает расхождение результатов измерений между разными испытательными лабораториями вплоть до 10 раз, то есть до одного порядка.

Существенная вариативность исследуемого показателя подтвердилась и при проведении данного исследования. При испытании проб тканей разброс получаемых значений оказался значительным, максимальное значение показателя в некоторых случаях превышает минимальное в 5-8 раз.

Для корректной интерпретации полученных результатов проведена оценка значимости установленных различий исследуемого показателя между стирками. На основе применения критерия Манна-Уитни

- для образца 14С5-КВ:

$$Y = 34205 \sqrt{1 + 0,3n},$$

где n – количество стирок.

Коэффициент детерминации R^2 регрессионных моделей составил для образца 06С27-КВ – 0,86, для образца 14С5-КВ – 0,92, что свидетельствует об их адекватности.

По полученным моделям построены графические зависимости (рис. 1 и 2).

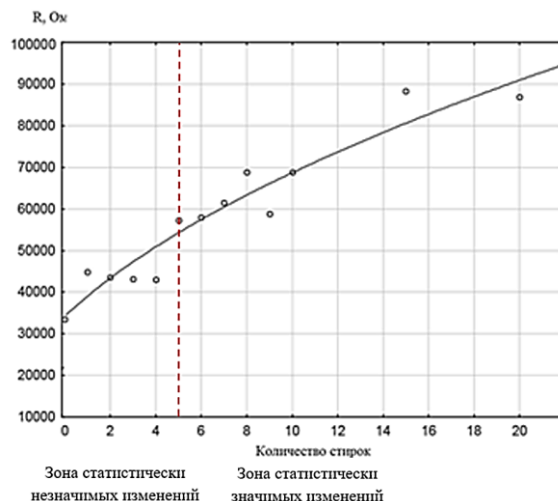


Рис. 2

определено, что различия удельного поверхностного электрического сопротивления между стирками оказались статистически незначимыми. Однако происходит накопление незначительных изменений в свойствах тканей после стирок, в результате которого установленные изменения становятся значимыми [8]. На рис. 1 и 2 пунктиром отмечен момент, где зона статистически незначимых изменений сменяется зоной статистически значимых изменений. Для образца 06С27-КВ различия становятся статистически значимыми после 9-й стирки ($U_9 = 92,5$), а для образца 14С5-КВ – после 5-й стирки ($U_5 = 91$). Данные изменения не являются случайными, так как после следующих стирок значение U-критерия остается в зоне ниже критического значения $U_{кр} = 127$.

Из графиков можно заметить постепенное увеличение удельного поверхностного электрического сопротивления с увеличе-

нием числа стирок, что говорит о том, что антистатические свойства несколько снижаются. В соответствии с ГОСТ 11209-2014 испытание защитных свойств проводят после пятикратной стирки. Таким образом, все образцы соответствуют нормируемому значению данного показателя даже после стирок, количество которых превышает стандартизированное значение, то есть исследуемые ткани обладают высокими антистатическими свойствами.

Согласно полученным моделям антистатические свойства тканей будут снижаться и далее, однако скорость их изменения будет постепенно уменьшаться. Полученные регрессионные модели могут быть использованы для прогнозирования изменения удельного поверхностного сопротивления исследованных тканей при последующих стирках. В работе [3] количество стирок принималось равным 50 в соответствии с нормами выдачи специальной одежды.



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

Проанализировав полученные фотографии срезов тканей, установили, что структура в обоих образцах остается стабильной даже после многократных стирок: порядок фазы строения соответствует IV порядку [9]. Однако стоит отметить, что после 20 стирок увеличивается ворсистость нитей как основы, так и утка. В качестве возможных причин снижения антистатических свойств тканей можно выделить потерю и коррозию стальных волокон в процессе стирок, а

С учетом погрешности полученных моделей и значительной вариативности показателей антистатических свойств тканей и при прогнозировании их изменения можно рекомендовать принимать запас в один порядок, то есть устанавливать более жесткое ограничение, согласно которому удельное поверхностное электрическое сопротивление не должно превышать 10^6 Ом.

На основании анализа полученных регрессионных моделей можно прогнозировать, что и после 50 стирок расчетное значение удельного поверхностного сопротивления исследованных тканей не превысит установленное ограничение.

Для определения причин снижения антистатических свойств тканей специального назначения проведены исследования структуры материалов до стирок и после 20 циклов. Для исследованных образцов с помощью микроскопа (увеличение в 55 раз) получены фотографии срезов ткани (рис. 3...6).

также уменьшение зоны контакта стальных волокон с электродами прибора ИЭСТП-2 из-за повышения ворсистости пряжи, что хорошо видно на полученных фотографиях.

В Ы В О Д Ы

1. В результате проведенных исследований определено влияние стирок на изменение удельного поверхностного сопротивления тканей, содержащих стальное волокно

Векінох. Установлено, что до пятой стирки изменение данного показателя является статистически незначимым.

2. Получены регрессионные модели, описывающие зависимость удельного поверхностного электрического сопротивления исследуемых тканей от количества стирок. Установлено, что значение данного показателя для двух образцов антистатических тканей постепенно повышается с увеличением количества циклов стирок. Однако можно прогнозировать, что и после 50 стирок исследуемые ткани соответствуют требованиям, предъявляемым к антистатическим текстильным материалам.

3. В результате исследований фотографии срезов тканей установлено, что структура ткани образцов стабильна. В качестве возможных причин снижения антистатических свойств тканей можно выделить потерю и коррозию стальных волокон в процессе стирок, а также повышение ворсистости пряжи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кветковский Д.И., Тюшкевич Е.В., Чарковский А.Г. Разработка структуры и исследование свойств антистатических тканей с использованием углеродсодержащих комбинированных нитей // Материалы докладов 54-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов. Витебск: ВГТУ, 2021. Т. 2. С. 206...208.
2. Чернышева Г.М., Давыдов А.Ф. Влияние стирок на свойства тканей для спецодежды работников нефтеперерабатывающих заводов // МНТФ «Первые Косыгинские чтения». 2017. Т. 2. С. 32...34.
3. Суккари А.Р., Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Буланов Я.И. Оценка физических свойств тканей специального назначения для защиты от общих производственных загрязнений после многократных стирок // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №2. С. 78...82.
4. Ефанов Е.Д., Шустов Ю.С. Влияние многократных стирок на физико-механические свойства текстильных материалов для работников авторемонтных предприятий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №3. С. 65...70.

5. Truncyte D., Daukantiene V., Gutauskas M. The influence of washing on fabric wearing properties // *Tekstil*. 2007. №8. P. 493...498.

6. Varnaitė S., Katunskis J. Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009. №5. P. 69...75.

7. Рыклин Д.Б., Кветковский Д.И. Определение влияния волокон Векінох на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2021. № 2. С. 73...80.

8. Марченко В.Г., Рыклин Д.Б. Оценка влияния стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2023. №45. С. 17...26.

9. Мартынова А.А., Слостина Г.Л., Власова Н.А. Строение и проектирование тканей. М.: МГТА, 1999.

REFERENCES

1. Kvetkovsky D.I., Tyushkevich E.V., Charkovsky A.G. Development of the structure and study of the properties of antistatic fabrics using carbon-containing composite yarns // 54th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students. 2021. Vol. 2. P. 206...208.
2. Chernysheva G.M., Davidov A.F. Effect of washes on tissue properties for overall workers of oil refining plants // ISTF «First Kosygin Readings». 2017. Vol. 2. P. 32...34.
3. Sukkari A.R., Kurdenkova A.V., Shustov YU.S., Bulanov YA.I. Evaluation of fabrics for special purpose physical properties for protection against general industrial contamination after multiple washings // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. №2. P. 78...82.
4. Efanov E.D., Shustov YU.S. The influence of multiple washing on the change in the physical and mechanical properties of fabrics for workers of automotive repair plants // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. №3. P. 65...70.
5. Truncyte D., Daukantiene V., Gutauskas M. The influence of washing on fabric wearing properties // *Tekstil*. 2007. №8. P. 493...498.
6. Varnaitė S., Katunskis J. Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns // *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2009. №5. P. 69...75.

7. Ryklin D.B., Kvetkovsk, D.I. Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance // Vestnik of Vitebsk State University of Technology. 2021. № 2. P. 73...80.

8. Marchenko V.G., Ryklin D.B. Assessment of the influence of washing on the antistatic properties of fabrics for workwear // Vestnik of Vitebsk State University of Technology. 2023. №45. P. 17...26.

9. Martynova A.A., Slostina G.L., Vlasova N.A. Fabric construction and design. M: MGTA, 1999.

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

УДК 677.017.62

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_61

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОДОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ОБЕСПЕЧИВАТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГОМЕОСТАЗ*

DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING THE ABILITY OF MATERIALS FOR WATERPROOF CLOTHING TO ENSURE TEMPERATURE HOMEOSTASIS

Д.К. ПАНКЕВИЧ

D.K. PANKEVICH

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: dashapan@mail.ru

В статье представлено обоснование нового критерия оценки способности материалов для водозащитной одежды обеспечивать температурный гомеостаз человека. Изложены основные теоретические положения физиолого-гигиенической оценки одежды по уровню комфортности, взятые за основу при разработке критерия, приведены расчетные формулы и определена градация значений нового динамического критерия водопаропроницаемости. Показано, что возможность организма одетого человека обеспечивать гомеостаз в каждый момент времени зависит от величины разности парциальных давлений пара, которая определяется температурой кожи человека, влажностью пространства под одеждой и метеорологическими параметрами наружного воздуха. Величина разности парциальных давлений пара непрерывно изменяется в зависимости от теплопродукции человека и от способности материалов одежды пропускать водяные пары через свою структуру. Для оценки этой способности традиционно применяют показатель водопаропроницаемости, измеряемый при стандартных условиях и сравниваемый с эталоном. С целью совершенствования методики оценки предложено величину коэффициента водопаропроницаемости материала соотносить с величиной влагопотерь человека, который ощущает потребность в выведении паров влаги из пространства под одеждой, регистрируя

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

теплоощущения «тепло», «жарко» и «очень жарко»). При этом скорость выведения паров материалами одежды должна соответствовать скорости накопления испаряющейся с поверхности кожи человека влаги при изменении его теплоощущений в конкретном диапазоне разности парциальных давлений пара, обусловленном условиями эксплуатации. В результате разработан критерий оценки функции обеспечения материалами одежды температурного гомеостаза, который позволяет определить соответствие способности материалов не препятствовать процессам терморегуляции потребностям организма человека. Критерий показывает отношение максимально возможного в заданных эксплуатационных условиях коэффициента водонепроницаемости и влагопотерь к испарениям носчика, проявляющего тот или иной уровень активности. Приведен пример расчета разработанного критерия для спортивной экипировки по результатам исследования водозащитных материалов.

The article presents the substantiation of a new criterion for assessing the ability of materials for waterproof clothing to provide human temperature homeostasis. The basic theoretical provisions of physiological and hygienic assessment of clothing on the level of comfort taken as a basis for the development of the criterion are stated, calculation formulas are given and gradation of values of the new dynamic criterion of water vapor permeability is determined. It is shown that the ability of the clothed person's organism to provide homeostasis at each moment of time depends on the value of the difference of partial vapor pressures, which is determined by the temperature of the human skin, humidity of the space under the clothing and meteorological parameters of the outside air. The value of the difference in partial vapor pressure varies continuously depending on human heat production and the ability of clothing materials to pass water vapor through their structure. To assess this ability, water vapor permeability index is traditionally used, measured under standard conditions and compared with a reference standard. In order to improve the assessment methodology, it is proposed to correlate the value of the water vapor permeability coefficient of the material not with a reference standard, as suggested by the existing regulatory framework, but with the amount of moisture loss of a person who feels the need to remove moisture vapor from the space under the clothes, registering the heat sensations "warm", "hot" and "very hot". The rate of vapor removal by clothing materials should correspond to the rate of accumulation of moisture evaporating from the human skin surface when changing his/her heat sensations in a specific range of partial vapor pressure difference, conditioned by the operating conditions. As a result, a criterion has been developed for assessing the function of providing clothing materials with temperature homeostasis, which makes it possible to determine the compliance of the materials' ability not to interfere with the processes of thermoregulation to the needs of the human body. The criterion shows the maximum possible data in given operating conditions ability of a material to pass through its structure water vapor. The article gives an example of calculation of the developed criterion for sports outfit based on the results of research of waterproof materials.

Ключевые слова: одежда, гомеостаз, водозащитные материалы, комфорт, водонепроницаемость, критерий.

Keywords: clothing, homeostasis, waterproof materials, comfort, water vapor permeability, criterion.

Введение

Живые организмы большую часть времени проводят в стационарном состоянии гомеостаза [1]. Температурный гомеостаз – это способность организма поддерживать постоянство температуры тела в пределах, обеспечивающих его оптимальную жизнедеятельность [2]. Организм человека является открытой системой, которая непрерывно обменивается с внешней средой веществом и энергией, при этом сама их тоже производит. Нагревание тела человека до 42-43 °С и охлаждение до 24-25 °С могут привести к летальному исходу [3]. Важным свойством материалов одежды является способность обеспечивать постоянство температуры тела человека в узком диапазоне существования организма.

В нормальных условиях теплопродукция соответствует теплоотдаче и зависит от температуры и влажности воздуха, скорости его движения, энергозатрат человека. При этом в организме непрерывно происходит процесс терморегуляции путем изменения интенсивности обмена веществ и за счет физических процессов, например испарения [4]. Если тепловой баланс нарушается и тело человека перегревается, срабатывает механизм физической терморегуляции и потоотделение существенно увеличивается. У одетого человека пакет материалов создает вокруг тела оболочку, которая тем комфортнее, чем больше она способна помогать работе механизмов терморегуляции.

Сравнительный анализ эффективности различных каналов теплопотерь организма показывает, что существует две области параметров условий эксплуатации одежды, условно названные низкотемпературной и высокотемпературной областями, в которых механизмы поддержания теплового гомеостаза существенно различаются. В низкотемпературной области основная задача – не допустить переохлаждения организма. В высокотемпературной области – не допустить перегрева организма. В этой области одним из основных механизмов терморегулирования является выделение и испарение пота [5].

Выполняя функцию обеспечения гомеостаза в высокотемпературной области эксплуатации, материалы для одежды являются границей, которая отделяет пространство под одеждой от внешней среды. Внешняя среда более стабильна в плане колебаний температуры, переход из низкотемпературной области в высокотемпературную со стороны внешней среды маловероятен в период единичной носки одежды. Для внутренней среды пространства под одеждой характерны значительные колебания температуры в аналогичный период, и высокотемпературная область условий эксплуатации может с легкостью сформироваться за очень короткое время. Например, при ходьбе по открытому шоссе выделение пота возрастает в 2-3 раза, а при беге – в 4-6 раз по сравнению со спокойным состоянием [5]. Поэтому критерий оценки уровня функциональности материалов, характеризующий способность обеспечивать температурный гомеостаз в высокотемпературной области условий эксплуатации, важен для одежды любого сезона носки.

Водопаропроницаемость для материалов водозащитной одежды является одним из сорбционных свойств, определяющих их качество и существенно влияющих на способность обеспечивать температурный гомеостаз в высокотемпературной области условий эксплуатации.

Показатель водопаропроницаемости (water vapour permeability index, WVPI) – величина, определяемая как способность пропускать водяной пар выше нормативного уровня, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости, выраженная в процентах от известного эталона сравнения [6]. Нормативный уровень определен стандартом и характеризуется коэффициентом водопаропроницаемости (water vapour permeability, WVPЭ) полиэфирной ткани полотняного переплетения с нормированными структурными характеристиками. В основе стандартной методики определения WVP лежит метод Тейлора, при котором коэффициент водопаропроницаемости WVP, г/(м²·24 ч), определяется как отношение

убыли массы воды, испарившейся за определенное время в контролируемых условиях через образец, к площади этого образца. Метод используется при исследовании водопаропроницаемости с целью оценки качества одежды как бытового, так и специального назначения [7].

Процесс переноса водяного пара из пространства под одеждой в окружающую среду нестабилен во времени и определяется множеством взаимозависимых факторов. Поэтому характеристики этого процесса непрерывно изменяются в зависимости от интенсивности физической активности человека в одежде и от погодных условий. В общем случае водопаропроницаемость увеличивается с увеличением разности ΔP парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала [8].

Показатель водопаропроницаемости материала, исследуемый при стабилизированном установленном значении ΔP , не дает полной информации о способности материала выводить необходимое количество влаги из пододежного пространства наружу. Проблема заключается в том, что существующие критерии позволяют оценить свойство только при заданных фиксированных значениях комплекса условий: температуры, влажности и скорости движения воздуха, расстояния между моделью «тела» и внутренней поверхностью образца. В результате коэффициент водопаропроницаемости, исследуемый в стандартных условиях, не дает информации о том, как изменяется способность материалов обеспечивать температурный гомеостаз организма человека в диапазоне условий носки, а величина его нормативного уровня, полученная путем сравнения с эталонным образцом, не имеет логически прослеживаемой согласованности с самочувствием человека, что делает ее малоинформативной.

Цель работы – предложить такой критерий оценки функции обеспечения температурного гомеостаза в высокотемпературной области условий эксплуатации, который отражает способность материала не препятствовать процессам терморегуляции человека в нестабильных условиях эксплуатации одежды конкретного назначения.

Методы

На коже человека располагаются многочисленные (примерно 5000000) рецепторы, раздражение которых вызывает тактильную чувствительность [9]. Влагопотери тесно коррелируют с теплоощущениями человека и в зависимости от функциональных сдвигов в организме позволяют судить о степени напряжения механизмов терморегуляции. Несмотря на то, что системы терморегуляции «справляются» с задачей обеспечения теплового баланса в широком диапазоне внешних условий, необходимость напряжения этих систем воспринимается как ощущение дискомфорта в среде с неподходящими климатическими параметрами [10]. Связь между тепловыми ощущениями и значением средневзвешенной температуры кожи (СВТК), установленная в ходе многочисленных экспериментальных исследований, иллюстрирует табл. 1 [11]. Принято считать СВТК одним из информативных показателей теплового состояния человека.

Из табл. 1 видно, что начиная с некоторой температуры воздуха теплоощущения человека (тепло, жарко и очень жарко) коррелируют главным образом с уровнем потери влаги путем потоотделения.

Т а б л и ц а 1

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги потоотделением, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	450-1950 – значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	200-450 – значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	10-200 – пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	0 – пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	0 – пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$	влагопотери как показатель теплоощущений не характерны
Очень холодно	ниже 28,1	

Логичным представляется утверждение, что для обеспечения гомеостаза образовавшийся в результате потоотделения водяной пар должен как можно быстрее удаляться из пространства под одеждой за счет паропроницаемости материалов одежды. Поскольку водопаропроницаемость принято характеризовать коэффициентом WVP , $г/(м^2 \cdot 24 ч)$, проведем несложные расчеты

для сопоставления требуемого уровня WVP с влагопотерями потоотделением при допущении, что площадь поверхности кожи

взрослого человека составляет в среднем 1,8 м². Результат расчетов представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Теплоощущение	Очень жарко	Жарко	Тепло	Комфорт
Влагопотери человека за счет потоотделения, г/24 часа	10800...46800	4800...10800	240...4800	0...240
Требуемая WVP, г/(м ² ·24 ч)	6000...26000	2667...6000	133...2667	0...133

Анализ данных табл. 2 показывает, что при изменении теплоощущения одетого человека на одну категорию, например с «комфортно» на «тепло», влагопотери человека за счет потоотделения, вызванного напряжением механизма терморегуляции, изменяются так, что эффективное удаление образовавшейся влаги требует увеличения коэффициента водопаропроницаемости на несколько тысяч грамм в сутки.

Хорошее теплоощущение и нормальные условия для терморегуляции у человека еще сохраняются при относительной влажности воздуха под одеждой 50-60 % [3]. Повышение относительной влажности воздуха в пространстве под одеждой свыше 76% воспринимается человеком как теплоощущение «жарко», свыше 87% – «очень жарко» [5]. Физический смысл функции обеспечения температурного гомеостаза материалами одежды в высокотемпературной области условий эксплуатации – не допустить перегрева организма, то есть пропускать через свою структуру столько водяного пара, сколько его производит организм человека.

На основании изложенного разработан новый динамический критерий водопаропроницаемости Квпп, который характеризует максимально возможную в заданных условиях эксплуатации способность материала проводить через свою структуру пары влаги. Чем шире диапазон изменения водопаропроницаемости материала, тем лучше он будет проводить пары воды через свою структуру в постоянно изменяющихся условиях эксплуатации. Для определения нового критерия необходимо исследовать водопаропроницаемость материалов при максимально возможной разности ΔР парциальных давлений, которая создается изменением температуры и влажности про-

странств по обе стороны от исследуемого образца материала.

Расчет критерия Квпп основан на том, что для каждого сочетания температуры и влажности наружного воздуха и воздуха пододежного пространства, обусловленного характером деятельности носчика и условиями эксплуатации, может быть определен диапазон разности ΔР, возникающей на границе «пододежное пространство – окружающая среда». Коэффициент водопаропроницаемости исследуемого материала WVРи изменяется пропорционально изменению ΔР, поэтому достаточно определить его в точке максимума диапазона ΔР, чтобы узнать максимально возможную водопаропроницаемость для заданных эксплуатационных условий. Известно, что скорость испарения влаги существенно возрастает при обдуве поверхности со скоростями потока воздуха 0,2-0,5 м/с и выше [5], поэтому, если условия эксплуатации подразумевают обдув поверхности материала одежды (например, при скоростном передвижении), то такой же обдув необходимо моделировать и при испытаниях.

Соотношение между максимально возможным значением водопаропроницаемости материала в условиях эксплуатации и требуемым для удаления образовавшейся влаги значением водопаропроницаемости рассчитывается как безразмерный динамический критерий водопаропроницаемости Квпп по формуле:

$$K_{\text{впп}} = \frac{WVРи_{\text{max}}}{WVРи_{\text{req}}}, \quad (1)$$

где WVРи_{max} – коэффициент водопаропроницаемости исследуемого материала, опре-

деляемый в условиях максимальной разности парциальных давлений пара, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$; $WVP_{\text{и req}}$ – требуемый коэффициент водопаропроницаемости, необходимый для обеспечения гомеостаза организма человека в заданных условиях эксплуатации, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$.

Динамическим критерий назван потому, что учитывает изменения условий проявления материалом способности транспортировать пары воды (как со стороны внешней среды, так и со стороны носчика одежды), и его расчет для материалов различного назначения различен. Различия состоят, во-первых, в условиях проведения испытания, которые должны моделировать максимально возможную в заданном диапазоне условий носки одежды разность парциальных давлений водяного пара, во-вторых – в значении требуемого коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{и req}}$, которое зависит от характера деятельности носчика.

Для определения динамического критерия водопаропроницаемости $K_{\text{впп}}$ необходимо установить максимально возможную разность ΔP парциальных давлений водяного пара наружной и внутренней среды для конкретного вида одежды. Значение ΔP рассчитывается по известной формуле, исходя из значений температуры $T_{\text{н}}$, $T_{\text{вн}}$ и относительной влажности $W_{\text{н}}$, $W_{\text{вн}}$ снаружи и внутри одежды соответственно:

$$\Delta P = 1,84 \cdot 10^9 \cdot \left(W_{\text{вн}} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_{\text{вн}}}\right) - W_{\text{н}} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_{\text{н}}}\right) \right). \quad (2)$$

На основании анализа условий эксплуатации одежды определяют диапазон наиболее характерных температур внешней среды $T_{\text{н min}}$, $T_{\text{н max}}$ и диапазон относительной влажности $W_{\text{н min}}$, $W_{\text{н max}}$, при которых предполагается носка проектируемой одежды. Эти величины в комплексе влияют на расчетную величину нижней границы диапазона значений парциального давления водяного пара $P_{\text{э1}}$ и верхней границы $P_{\text{э2}}$ при эксплуатации одежды. Когда теплоощущения изменяются от «комфортно» до «очень жарко», требуемый для обеспечения гомеостаза уровень $WVP_{\text{и}}$ также должен

расти соответственно влагопотерям человека за счет потоотделения (табл. 2). Средняя температура пространства под одеждой соответствует СВТК и для состояния «очень жарко» составляет $T_{\text{внж}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$, средняя влажность пространства под одеждой $W_{\text{внж}} = 87 \%$, расчетная величина парциального давления водяного пара при этом составляет $P_{\text{ж}} = 5507 \text{ Па}$. Аналогичный расчет проведен для состояния «комфорт», $P_{\text{к}} = 2583 \text{ Па}$. Тогда диапазон значений ΔP , в пределах которых выполняется исследование функции обеспечения материалами одежды температурного гомеостаза, определяется выражением:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{min}} &= \min(P_{\text{к}} - P_{\text{э1}}; P_{\text{к}} - P_{\text{э2}}) = 2583 - P_{\text{э2}}, \\ \Delta P_{\text{max}} &= \max(P_{\text{ж}} - P_{\text{э1}}; P_{\text{ж}} - P_{\text{э2}}) = 5507 - P_{\text{э1}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Требуемый уровень водопаропроницаемости материала для состояния «комфортно» близок к нулю, поскольку в организме человека в этом состоянии отсутствуют влагопотери за счет потоотделения. Для состояния «очень жарко» необходимо, чтобы материалы одежды пропускали через себя от 6000 до 26000 $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$. Градация требуемого значения коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{и req}}$ будет зависеть от характера деятельности одетого человека: покой, умеренная активность, средняя активность, высокая активность, экстремальная активность. Тогда и диапазон требуемых значений коэффициента водопаропроницаемости целесообразно проградировать соответственно потребностям носчика. Градация требуемого значения коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{и req}}$ составлена на основании анализа источников литературы [12...16] и представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Характер деятельности человека	Значение $WVP_{\text{и req}}$, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$
Покой	6000...6500
Умеренная активность	6500...8500
Средняя активность	8500...14000
Высокая активность	14000...19000
Экстремальная активность	19000...26000

Значение нового критерия Квпп изменяется в диапазоне от 0 до 1,00 со следующей градацией уровней функциональности материалов: недопустимый 0–0,36; низкий 0,37–0,62; средний 0,63–0,80; высокий 0,81–1,00. Градация основана на традиционной шкале желательности Харрингтона [17].

В Витебском государственном технологическом университете разработано устройство [18], которое позволяет проводить испытания на водопаропроницаемость при моделировании различных условий эксплуатации материалов и определять коэффициент водопаропроницаемости при

различных значениях разности парциальных давлений водяного пара, а также при различных режимах и скоростях обдува поверхности исследуемого материала.

Разработанный критерий применяли для сравнительной оценки уровня комфортности материалов для спортивной водозащитной экипировки байдарочника, характер тренировочной деятельности которого можно интерпретировать как высокую активность. Характеристика образцов водозащитных комплексных материалов, предполагаемых для изготовления спортивной экипировки, представлена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Номер образца / артикул	Поверхностная плотность, г/м ²	Структура слоев комплексного материала			
		текстильного тканого (трикотажного) слоя		полимерного слоя	
		толщина (лицо / изнанка), мм	переплетение нитей текстильного слоя (лицо / изнанка)	толщина слоев, мм	
				пористого	монолитного
1/MT-023	160	0,13 / -	комбинированное	0,05	нет
2/MT-002	109	0,11 / -	полотняное	0,07	нет
3/TP-011	148	0,12 / 0,12	ластик 1+1 / ластик 1+1	нет	0,02
4/MT-018	139	0,13 / -	комбинированное	0,05	0,01
5/ TP-023	150	0,22 / -	кулирная гладь	0,04	нет
6/TP-0015c	134	0,32 / -	двуластичное	нет	0,015

С целью получения данных для расчета нового динамического критерия водопаропроницаемости стандартную методику исследования водопаропроницаемости, изложенную в источнике [6], модифицировали в части создаваемых условий испытаний внутри и снаружи исследуемого образца материала. Методика реализована с помощью устройства [18], расположенного в климатической камере УТН-408-40-1Р («Tuantaо», Китай). Испытания проводили с подогревом чаш и обдувом образцов потоком воздуха со скоростью 3,0 м/с (с учетом скорости, развиваемой байдаркой). Условия, обеспечивающие заданное в опыте значение разности парциальных давлений водяного пара ΔP , создавали, варьируя значения устанавливаемых температуры и влажности наружного воздуха в климатической камере и температуры воды в чашах, и контролировали в течение опыта.

Значения разности парциальных давлений водяного пара ΔP по обе стороны от об-

разца устанавливали исходя из назначения одежды и среднесезонной температуры для данного климатического пояса и конкретного сезона носки проектируемой одежды. Для определения значений Квпп воспользовались диапазоном наиболее характерных температур внешней среды и относительной влажности, при которых занимающиеся на открытой акватории спортсмены нуждаются в водозащитной экипировке: температура воздуха от 0 °С до 12 °С, относительная влажность воздуха над поверхностью водоема от 50 % до 90% [19].

Для расчета парциального давления пара в пододежном пространстве по формуле (2) приняли, что минимальное парциальное давление пара ожидается, когда спортсмен испытывает ощущения «комфорт», при этом температура пододежного пространства $T_{внк} = 33,2$ °С, влажность $W_{внк} = 50,5$ %. Максимальное парциальное давление пара предполагается, когда спортсмен испытывает теплоощущение

«очень жарко», при этом температура подождежного пространства $T_{внж} = 37,0$ °С, влажность $W_{внж} = 87$ %. Для определения

разности парциального давления воспользовались формулой (3). Расчет представлен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Границы диапазона условий носки и диапазона теплоощущений				ΔP_{max} , Па
$T_H = 0^\circ\text{C}$, $W_H = 50\%$, $T_{внк} = 33,2^\circ\text{C}$, $W_{внк} = 50,5\%$	$T_H = 12^\circ\text{C}$, $W_H = 90\%$, $T_{внк} = 33,2^\circ\text{C}$, $W_{внк} = 50,5\%$	$T_H = 0^\circ\text{C}$, $W_H = 50\%$, $T_{внж} = 37^\circ\text{C}$, $W_{внж} = 87\%$	$T_H = 12^\circ\text{C}$, $W_H = 90\%$, $T_{внж} = 37^\circ\text{C}$, $W_{внж} = 87\%$	
$\Delta P = 2583 - 309 = 2274$ Па	$\Delta P = 2583 - 1263 = 1320$ Па	$\Delta P = 5507 - 309 = 5198$ Па	$\Delta P = 5507 - 1263 = 4244$ Па	5198

Результаты и обсуждения

Исходя из табл. 5 для определения динамического критерия паропроницаемости выбраны условия испытаний, соответствующие максимуму диапазона ΔP . Результаты испытаний и расчет динамического критерия водопаропроницаемости представлены в табл. 6.

При оценке уровня комфортности материалов принято, что требуемое максималь-

ное значение коэффициента водопаропроницаемости для спортивной экипировки должно быть близко к верхней границе диапазона высокой активности: $WV_{Pи,req} = 19000$ г/(м²·24 ч). Для сравнения в таблице приведен расчет $K_{впп}$ для умеренной активности носчика при требуемом значении $WV_{Pи,req} = 7000$ г/(м²·24 ч).

Т а б л и ц а 6

Номер образца	Коэффициент водопаропроницаемости при ΔP_{max} , $WV_{Pи}$, г/м ² ·24ч	$K_{впп}$ для высокой активности носчика	$K_{впп}$ для умеренной активности носчика
1	1380	0,073	0,197
2	1980	0,104	0,283
3	4150	0,218	0,593
4	5120	0,269	0,731
5	5240	0,276	0,749
6	4490	0,236	0,641

Наибольшими значениями динамического критерия водопаропроницаемости для высокой активности носчика (свыше 0,25) обладают два образца из шести, но даже у этих образцов значение критерия $K_{впп}$ мало и составляет лишь четверть от требуемого. Следовательно, при применении исследуемых образцов материалов для проектируемой одежды без специальных конструктивных приемов, включающих правильно рассчитанные вентиляционные отверстия, не удастся достичь необходимых условий для беспрепятственной терморегуляции организма при его перегревании во время тренировки.

Расчет динамического критерия водопаропроницаемости для умеренной активности носчика показал, что исследуемые материалы в большей степени удовлетворяют

условиям носки одежды умеренно активными носчиками, поскольку уровень $K_{впп}$ для умеренной активности у них выше. Образцы №4, №5 и №6 характеризуются средним уровнем $K_{впп}$ и могут быть использованы для тренировочной деятельности байдарочника при условии использования специальных конструктивных приемов, повышающих уровень вентилируемости пространства под одеждой, но не для соревновательной экипировки.

Заключение

Разработанный динамический критерий водопаропроницаемости позволяет определить соответствие способности материалов не препятствовать процессам терморегуляции физиологической норме влагопотерь человека при определенной физической активности. Критерий показывает в долях от

единицы, какую часть выделяющихся водяных паров способен пропускать через свою структуру материал при возрастании такой потребности у носчика в заданных условиях эксплуатации одежды при заданной активности носчика. Данные исследований физиологов-гигиенистов позволили определить диапазон требуемых значений коэффициента водопаропроницаемости материалов при различном уровне активности человека, поэтому оценка функции обеспечения гомеостаза материалами одежды с помощью нового динамического критерия Квпп приобрела логически обоснованную привязку к теплоощущениям человека. Применение Квпп позволяет оценить свойства материала в тех условиях, в которых он работает, дает возможность прогнозирования теплоощущений человека в одежде из исследуемого материала, что выгодно отличает новый критерий от других.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бурдаков В.П.* Основы биологической термодинамики. М.: Изд-во МАИ, 2004. 131 с.
2. *Семенович А.А.* Нормальная физиология. Минск: Новое знание, 2020. 520 с.
3. *Чвырев В.Г., Ажаев А.Н., Новожилов Г.Н.* Тепловой стресс: руководство для врачей. М.: Медицина, 2000. 295 с.
4. *Колесников П.А.* Основы проектирования теплозащитной одежды. М.: Легкая индустрия, 1971. 112 с.
5. *Тимофеева Е.И., Федорович Г.В.* Экологический мониторинг параметров микроклимата. М.: НТМ-защита, 2005. 194 с.
6. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 24 с.
7. *Бессшапошникова В.И., Логинова Е.А., Ковалева Н.Е., Степанова И.В., Смирнова А.В.* Проектирование и прогнозирование свойств материалов для защиты от химически агрессивных сред // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №3(405). С. 87...94.
8. *Holmes D.A* Waterproof breathable fabrics. Cambridge: The Textile Institute, 2000. 576 p.
9. *Жихарев А.П.* Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности. Казань: КГТУ, 2011. 232 с.
10. *Архангельский В.И., Кириллов В.Ф.* Гигиена и экология человека. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 176 с.

11. *Кричагин В.И.* Принципы объективной оценки теплового состояния организма // Авиационная и космическая медицина. М., 1963. С. 310...314.
12. *Leqi L., Shuo S., Dong W., Shuo M., Jian-Guo D., Shaohai F., Jinlian H.* Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives // ACS Nano. 2023. №17 (3). P. 1803...1830.
13. *Mazari A., Havelka A.* Comparison of textile membranes for moisture transport // Fibres and Textiles. 2020. №5. P. 24...31.
14. *Williams J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.
15. *Yongfang C., Fengxian Q., Dongya Y., Yuqi L., Hui L., Tao Z.* Multifunctional Hybrid Membranes with Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications // ACS Applied Energy Materials. 2022, 5 (9). P. 11892...11899.
16. *Jinhao X., Xuanxuan D., Binjie X., Chiwai K., Yaqian X., Zhuoming C., Mengjuan Z., Qingshuai Y.* Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management // ACS Applied Materials & Interfaces. 2021, № 13 (22). P. 26590...26600.
17. Патент РБ № 13087. Устройство для контроля паропроницаемости материалов.
18. *Harrington E.C.* The desirability function // Industrial Quality Control. 1965, Vol. 21. P. 494...498.
19. *Босак Н.В.* Изменения климата и использование климатических ресурсов. Минск: БГУ, 2001. 262 с.

REFERENCES

1. *Burdakov V.P.* Fundamentals of biological thermodynamics. Moscow: publishing house MAI, 2004. 131 p.
2. *Semenovich A.A.* Normal physiology. Minsk: New Knowledge, 2020. 520 p.
3. *Chvyrev V.G., Azhayev A.N., Novozhilov G.N.* Thermal stress: a guide for doctors. Moscow: Medicine, 2000. 295 p.
4. *Kolesnikov P.A.* Fundamentals of designing heat protective clothing. Moscow: Light industry, 1971. 112 p.
5. *Timofeeva E.I., Fedorovich G.V.* Ecological monitoring of microclimate parameters. Moscow: NTM-Zashchita, 2005. 194 p.
6. ГОСТ R 57514-2017. Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions. Moscow: Standardinform, 2017. 24 p.
7. *Besshaposhnikova V.I., Loginova E.A., Kovalева N.E., Stepanova I.V., Smirnova A.V.* Designing and predicting the properties of materials for protection from chemically aggressive media // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №3(405). С. 87...94.
8. *Holmes D.A* Waterproof breathable fabrics. Cambridge: The Textile Institute, 2000. 576 p.

9. Zhikharev A.P. Influence of environmental factors on materials of light industry. Kazan: KSTU, 2011. 232 p.

10. Arkhangelsky V.I., Kirillov V.F. Hygiene and human ecology. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. 176 p.

11. Krichagin V.I. Principles of objective assessment of the thermal state of the organism // Aviation and Space Medicine. Moscow, 1963. С. 310...314.

12. Leqi L., Shuo S., Dong W., Shuo M., Jian-Guo D., Shaohai F., Jinlian H. Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives // ACS Nano. 2023. №17 (3). P. 1803...1830.

13. Mazari A., Havelka A. Comparison of textile membranes for moisture transport // Fibres and Textiles. 2020. №5. P. 24...31.

14. Williams J.T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.

15. Yongfang C., Fengxian Q., Dongya Y., Yuqi L., Hui L., Tao Z. Multifunctional Hybrid Membranes with

Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications // ACS Applied Energy Materials. 2022, 5 (9). P. 11892...11899.

16. Jinhao X., Xuanxuan D., Binjie X., Chiwai K., Yaqian X., Zhuoming C., Mengjuan Z., Qingshuai Y. Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management // ACS Applied Materials & Interfaces. 2021, № 13 (22). P. 26590...26600.

17. Patent RB № 13087. Apparatus for determination of vapor permeability of materials.

18. Harrington E.C. The desirability function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. P. 494...498.

19. Bosak N.V. Climate change and utilization of climatic resources. Minsk: BSU, 2001. 262 p.

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

УДК 687.03

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_70

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ*

COMPARATIVE ANALYSIS OF WATERPROOF RESISTANCE OF PROTECTIVE MATERIALS FOR SPECIAL CLOTHING*

Е.И. ИВАШКО, А.Н. БУРКИН

E.I. IVASHKO, A.N. BURKIN

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru

Статья посвящена защитным материалам для изготовления специальной одежды, обладающим разным уровнем защиты от воды. Приведен анализ терминов, используемых в материаловедении для характеристики способности сопротивляться проникновению воды. Дана характеристика водозащитных материалов, выпускаемых крупнейшим производителем текстильной продукции в Республике Беларусь. Представлены результаты испытаний по стандартной методике, полученные на универсальном приборе «AVENO AG17-3» и разработанном коллективом авторов УО «ВГТУ» приборе для определения водозащитных свойств материалов методом гидро-

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

статического давления. Выявлено, что из рассматриваемых защитных материалов, имеющих разную водозащитную отделку, самыми высокими значениями обладает материал с мембранным слоем.

The article is devoted to protective materials for special clothing with different levels of protection against water. The analysis of terms used in materials science to characterize the ability to resist water penetration is given. The characteristic of water-protective materials produced by the largest textile manufacturer in the Republic of Belarus is given. The results of tests according to the standard technique, obtained on the universal device "AVENO AG17-3" and the device for determination of waterproof properties of materials by the method of hydrostatic pressure, developed by the team of authors of EE "VGTU" are presented. It was revealed that of the protective materials under consideration, which have different waterproof finishes, the material with a membrane layer has the highest values.

Ключевые слова: водонепроницаемость, гидростатическое давление, водозащитные материалы.

Keywords: waterproof, hydrostatic pressure, waterproof materials.

Введение

В настоящее время защитные швейные изделия являются широко востребованным ассортиментом, имеющим значительную долю в продукции, выпускаемой промышленностью. Защитные швейные изделия широко используются в быту, но особенно важны они для людей в профессиональной деятельности [1].

Защитные материалы применяются в легкой промышленности для изготовления средств индивидуальной защиты, которые предотвращают или уменьшают воздействия на человека вредных и опасных факторов, препятствуют загрязнению. Опасности высоких или низких температур, искр, пламени, кислот и щелочей, влаги, ветра и механических воздействий требуют использования разных материалов, отличающихся не только по составу, но и по структуре, виду пропитки или дополнительного покрытия [2].

Защита от внешних воздействий окружающей среды является первоначальной функцией одежды. Одним из требований к одежде является сохранение ее владельца сухим. В материаловедении способность сопротивляться проникновению воды характеризуют с помощью показателей водоотталкивания, водоупорности, намокаемости, водонепроницаемости.

Анализ литературных источников [3...8] показал, что термины «водонепроницаемость» и «водоупорность» в большинстве случаев трактуются одинаково и подразумевают под собой сопротивление проникновению воды. Не во всех источниках водоупорность измеряется величиной гидростатического давления, а может выражаться временем промокания испытуемого материала, которое выражается в секундах от начала испытания до момента промокания обратной стороны полотна. В литературных источниках также встречается термин «водопроницаемость» и трактуется как способность текстильных материалов пропускать воду при определенном давлении или количество воды, прошедшей через испытуемый материал [3]. Такая терминологическая путаница становится препятствием для адекватной оценки водозащитной способности материалов легкой промышленности. Поскольку основная функция водозащитных материалов – препятствовать проникновению воды, то в статье будет использован термин «водонепроницаемость».

Водозащитные свойства материалам придают в процессе отделки. Наиболее распространенные способы – водоотталкивающая пропитка, пленочное покрытие, мем-

бранное покрытие, водоотталкивающая отделка [9...12]. Вид отделки во многом влияет на начальный уровень водонепроницаемости материала. Из всего многообразия водозащитных материалов выделяют композиционные текстильные материалы с мембранным слоем, полученные с использованием текстильных компонентов (волокон, нитей, тканей, трикотажных полотен, нетканых материалов) [13]. Целью создания таких текстильных материалов является соединение в одну структуру схожих или различных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами, отличными от свойств исходных компонентов. Каждый компонент в общем материале выполняет свою специфическую функцию [14].

За последние десятилетия композиционные материалы с мембранным слоем стали очень популярны благодаря уникальным потребительским свойствам – паропроницаемости и высокому уровню водонепроницаемости. Пористые мембраны из гидрофобных полимеров или монолитные диффузионные мембраны из гидрофильных полимеров, входящие в состав композиционного материала, определяют его свойства.

Согласно требованиям [7] материалы и изделия из них для защиты от воды и растворов нетоксичных веществ должны иметь водонепроницаемость не менее 2 кПа, а при воздействии струй воды – не менее 3,5 кПа. В качестве основного оборудования для определения водонепроницаемости по [3, 8] применяются: пенетрометры, гидростатические приборы с ком-

прессором и оригинальные гидростатические приборы. К оригинальным гидростатическим приборам можно отнести разработанный коллективом авторов кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» прибор для определения водозащитных свойств материалов [15], который позволяет определять уровень водонепроницаемости методом гидростатического давления, имеет небольшой вес и габариты, работает без подключения к электросети, обеспечивает автоматический, а не визуальный контроль водонепроницаемости материалов.

Целью данной работы является сравнение результатов водонепроницаемости, полученных на приборах, имеющих разную конструкцию, и выявление вида водозащитного материала для изготовления специальной одежды, обеспечивающего наиболее высокий уровень защиты от воды.

Объекты испытаний

В данной работе рассмотрены результаты исследований водонепроницаемости защитных материалов, выпускаемых ОАО «Моготекс», полученные на универсальном приборе «AVENO AG17-3» (Китай) и разработанном приборе для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления [15]. В качестве представителей водозащитных материалов выбраны образцы с акрилатным покрытием (ПлА), полиуретановым покрытием (ПлПУ), полиуретановым микропористым покрытием (ПлПУМ) и мембранным слоем (ПлЛАМ). Характеристика исследуемых образцов представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Номер образца	1	2	3	4
Артикул	ПлПУ-1	ПлА-1	ПлПУМ	ПлЛАМ
Поверхностная плотность, г/м ²	77	149	142	134
Число нитей на 10 см				
по основе	380	510	538	504
по утку	288	324	498	346
Толщина, мм	0,13	0,24	0,20	0,19
Вид переплетения	полотняное	полотняное	полотняное	полотняное

Методы

Сущность метода определения водонепроницаемости [3] заключается в регистрации проникания на изнаночной стороне элементарной пробы воды, подаваемой при

высоком гидростатическом давлении на ее лицевую сторону. Из каждого отобранного для испытания водозащитного материала вырезали по пять элементарных проб. До размещения образца на приборе поднимали

уровень воды вровень с поверхностью кольца круглого сечения, чтобы не было воздушной подушки между поверхностью воды и образцом. Увеличивали давление при постоянной скорости и снимали показания гидростатического давления со шкалы при первом проникании воды сквозь образец.

Одним из основных отличий в проведении данного испытания является момент фиксации проникновения на изнаночной стороне элементарной пробы воды, подаваемой при высоком гидростатическом давлении на ее лицевую сторону. При использовании универсального прибора «AVENO AG17-3» осуществлялся визуальный контроль проникновения воды сквозь образец, а при проведении испытаний на приборе для определения водозащитных свойств

материалов методом гидростатического давления, оснащенном диэлектрической пластиной для фиксации момента проникновения, фиксация осуществлялась при замыкании электрической цепи и срабатывании устройства светозвуковой индикации прибора.

Результаты и обсуждения

Проведение испытаний на разном испытательном оборудовании позволяет оценить точность полученных результатов испытаний, обеспечить их прослеживаемость, сравнить результаты испытаний и статистические параметры.

В ходе проведения испытаний по определению водонепроницаемости водозащитных материалов получены следующие результаты (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Номер образца	Водонепроницаемость, кПа		Среднее, кПа	Абсолютное отклонение, кПа	Относительный разброс, %
	Универсальный прибор «AVENO AG17-3»	Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления			
1	3,38	3,30	3,34	0,08	2,4
2	6,78	6,60	6,69	0,18	2,7
3	7,75	7,50	7,63	0,25	3,3
4	100,00	97,20	98,60	2,80	2,8

Степень расхождения полученных данных по показателю водонепроницаемости незначительна, об этом свидетельствуют низкие значения относительного разброса. Наименьшим уровнем водонепроницаемости обладает образец №1 с полиуретановым покрытием, который также имеет наименьшую толщину, поверхностную плотность и плотность переплетения нитей основы и утка на 10 см из рассматриваемых материалов. Данный образец не может быть использован в качестве защитного материала при воздействии струй воды, так как значения, полученные на универсальном приборе «AVENO AG17-3» (Китай) и разработанном приборе для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, не превышают значения 3,5 кПа, установленного Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» [7]. Образцы №2 и №3, имеющие акрилатное покрытие и полиуретановое микропористое

покрытие, соответствуют требованиям [7]. Значения водонепроницаемости данных образцов превосходят норму фактически в 2 раза. Они обладают близкими по значениям толщиной, поверхностной плотностью и плотностью переплетения нитей основы и утка на 10 см. Явным лидером из рассматриваемого числа водозащитных материалов является образец №4, имеющий в своей структуре мембранный слой. Данный образец отличается высокой плотностью переплетения нитей основы и утка на 10 см и достаточно невысокими значениями поверхностной плотности и толщины для материалов, используемых при изготовлении специальной одежды.

В Ы В О Д Ы

Значения водонепроницаемости водозащитных материалов, полученные на приборах разной конструкции, в данной работе являются сходимыми. Это объясняется тем,

что в качестве образцов использованы водозащитные материалы, имеющие тканую основу. В отличие от водозащитных материалов на трикотажной основе они меньше подвержены деформации при действии на них высокого гидростатического давления.

Для изготовления специальной одежды могут быть рекомендованы водозащитные материалы с мембранным слоем, обеспечивающие наиболее высокий уровень защиты от внешних воздействий окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Метелева О.В.* Исследование водозащитных свойств швейных изделий: моногр. Иваново: ИГТА, 2013. 76 с.

2. *Ивашко Е.И., Буркин А.Н.* Влияние температуры и влажности на свойства водозащитных материалов для специальной одежды // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности: сб-к науч. тр. Междунар. науч.-техн. симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского (ISTS «EESTE-2021»). М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. Т. 2. С. 134...138.

3. ГОСТ 12.4.263-2014. Система стандартов безопасности труда. Материалы для средств индивидуальной защиты с резиновым или пластмассовым покрытием. Метод определения водонепроницаемости. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.

4. *Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д.* Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: учебник для студентов вузов. М.: Академия, 2004. 448 с.

5. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 24 с.

6. ГОСТ 30292-96. Плотна текстильные. Метод испытания дождеванием. М.: Изд-во стандартов, 1998. 8 с.

7. ТР ТС 019/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты».

8. ГОСТ 413-91. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости. М.: Изд-во стандартов, 2000. 6 с.

9. *Mohd Sh., Shakeel A., Javed N.Sh.* Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques. Beverly, MA, Scrivener Publishing LLC, 2020. 356 p.

10. *Williams J. T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.

11. *Kunal S., Pintu P., Subhankar M.* Functional and Technical Textiles. Elsevier, Woodhead Publishing Ltd, 2023. 858 p.

12. *Gurumurthy B Ramaiah, Parashuram S Chillal, Ashok Ari.* Preparation and Properties of Waterproof

Coated Fabrics using Non-woven Fabric as Base Material // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. № 24(8). P. 5539...5554.

13. *Сташева М.А., Гойс Т.О., Гусев Б.Н.* Совершенствование нормативного обеспечения при оценке качества мембранных тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3(399). С. 91...96.

14. *Буркин А.Н., Махонь А.Н., Панкевич Д.К.* Эксплуатационные свойства текстильных материалов: монография. Витебск: ВГТУ, 2019. 218 с.

15. Пат. 12855 Республика Беларусь. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления.

REFERENCES

1. *Metelleva O.V.* Research of waterproof properties of garments: monograph. Ivanovo: IGTA, 2013. 76 с.

2. *Ivashko E.I., Burkin A.N.* Influence of temperature and humidity on the properties of waterproof materials for special clothing // Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium "Improving energy and resource efficiency and environmental safety of processes and devices of chemical and related industries" dedicated to the 110th anniversary of A.N. Planovsky (ISTS "EESTE-2021"). M.: A.N. Kosygin Russian State University, 2021. T. 2. C. 134...138.

3. GOST 12.4.263-2014. System of labor safety standards. Materials for personal protective equipment with rubber or plastic coating. Method for determining water permeability. Moscow: Standardinform, 2015. 12 p.

4. *Buzov B.A., Alymenkova N.D.* Material science in the manufacture of light industry products: textbook for students of universities. Moscow: Academy, 2004. 448 с.

5. GOST R 57514-2017. Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions. Moscow: Standardinform, 2017. 24 p.

6. GOST 30292-96. Textile fabrics. Method of testing by sprinkling. Moscow: Publishing House of Standards, 1998. 8 p.

7. TR TS 019/2011. Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of personal protective equipment".

8. GOST 413-91. Rubber and plastic coated fabrics. Determination of water resistance. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2000. 6 p.

9. *Mohd Sh., Shakeel A., Javed N.Sh.* Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques. Beverly, MA, Scrivener Publishing LLC, 2020. 356 p.

10. *Williams, J. T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.

11. *Kunal, S., Pintu, P., Subhankar M.* Functional and Technical Textiles. Elsevier, Woodhead Publishing Ltd, 2023. 858 p.

12. *Gurumurthy B Ramaiah, Parashuram S Chillal, Ashok Ari.* Preparation and Properties of Waterproof Coated Fabrics using Non-woven Fabric as Base Mate-

rial // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. № 24(8). P. 5539...5554.

13. Stasheva M.A., Gois T.O., Gusev B.N. Improvement of normative support in assessing the quality of membrane fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 3(399). С. 91...96.

14. Burkin, A.N., Makhon A.N., Pankevich D.K. Operational properties of textile materials: monograph. Vitebsk: VGTU, 2019. 218 с.

15. Patent 12855 RB. Device for determining the waterproof properties of materials by hydrostatic pressure method.

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

УДК 677.019

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_75

НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПИЛЛИНГУЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН С УЧЕТОМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИСПЫТЫВАЕМЫХ ПРОБ

RATIONING OF TEXTILE FABRICS PILLING ABILITY INDEX WITH DIGITAL PROCESSING INCLUDED TEST SAMPLES

T.O. ГОЙС, Т.Н. НОВОСАД, Н.А. КОРОБОВ, Б.Н. ГУСЕВ

T.O. GOIS, T.N. NOVOSAD, N.A. KOROBOV, B.N. GUSEV

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: k_mtsm@ivgpu.ru

Уровень качества изготавливаемых текстильных изделий зависит от соответствия фактических значений единичных показателей качества их нормативным значениям. Для швейных и трикотажных изделий, изготавливаемых из различных по виду текстильных полотен, ухудшение уровня качества в процессе эксплуатации изделий связано прежде всего с образованием пиллингуемости текстильных волокон на поверхности исходных материалов. Сам процесс образования пиллингуемости зависит от волокнистого состава материала, геометрических и механических свойств волокон, структуры нитей и строения произведенных текстильных полотен. Показатель пиллингуемости для тканей и штучных изделий бытового назначения из химических волокон входит в номенклатуру показателей качества по группе свойства назначения.

В работе осуществлен анализ измерительных операций стандартных методов испытаний для различных видов текстильных полотен, где подсчет количества пиллей осуществляется визуально, что приводит к субъективной погрешности при определении более четкой границы между понятиями ворсистости и пиллингуемости. Для снижения значения данной погрешности и повышения точности в оценке исследуемого показателя эксплуатационной надежности текстильных полотен применены различные способы цифровизации испытаний: формирование цифрового изображения испытываемой пробы с целью дальнейшей обработки, включая его бинаризацию, фильтрацию и сегментацию. Определены возможные направления по повышению точности измерений путем установления границы между свойствами «ворсистость» и «пиллингуемость» текстильных полотен. До-

полнительно с использованием метода аппроксимации предложен вид уравнения для непрерывного прогнозирования уровня показателя пиллингуемости относительно числа циклов испытаний на истирание пробы.

The quality level of manufactured textiles depends on the compliance of the actual values of individual quality indicators with their normative values. For sewing and knitting products made from textile fabrics of various types, the deterioration of the quality level during the operation of the products is primarily due to the formation of the pilling properties of textile fibers on the surface of the starting materials. The very process of formation of pilling depends on the fiber composition of the material, the geometric and mechanical properties of the curls, the structure of the threads and the structure of the textile polishes produced. The pilling index for fabrics and household products made of chemical fibers is included in the range of quality indicators for the purpose properties group.

The paper analyzes the measurement operations of standard test methods for various types of textile fabrics, where the counting of the number of pills is carried out visually, which leads to a subjective error in determining a clearer boundary between the concepts of fluffiness and pilling. To reduce the value of this error and increase the accuracy in assessing the studied indicator of operational reliability of textile fabrics, digital processing of the tested samples was applied by forming a digital image with its subsequent binarization, filtration and segmentation of the necessary image elements. Possible directions for improving the accuracy of measurements by establishing a boundary between the properties of "fluffiness" and "pilling" of textile fabrics are determined. Additionally, using the approximation method, a type of equation for continuous prediction of the level of the pilling index relative to the number of test cycles for abrasion of the sample is proposed. An equation for continuous prediction of the level of the pilling index relative to the number of cycles of abrasion tests of the sample is proposed .

Ключевые слова: текстильные полотна, показатель пиллингуемости, нормирование, приборная и цифровая обработка проб.

Keywords: textile fabrics, pilling index, rationing, instrumental and digital sample processing.

Введение

Процесс образования пиллингуемости волокон на поверхности текстильных полотен при их использовании в готовых изделиях (швейных, трикотажных) включает образование на начальной стадии их истирания небольших шариков (пиллей), т. е. рыхлых комочков из спутанных волокон, которые более или менее прочно удерживаются на поверхности полотен с помощью так называемых якорных волокон. Сам процесс образования пиллей можно разделить на три этапа: вначале происходит подъем над поверхностью материала свободных кончиков волокон, где образуется заметная ворсистость или мшистость, а затем во-

локна начинают группироваться, перепутываться и образовывать рыхлые комочки. Далее часть волокон обрывается и запутывается в комочки, которые уплотняются и удерживаются на трех-четырёх якорных волокнах [1].

Пиллингуемость текстильных полотен зависит от волокнистого состава изделия, геометрических и механических свойств волокон, структуры нитей и произведенных текстильных полотен. Склонностью к пиллингуемости обладают текстильные полотна, при выработке которых в смеси используют полиамидные (например, капрон) или полиэфирные (например, лавсан) волокна. Эти волокна обычно имеют гладкую

поверхность, большие удлинение и прочность, высокую стойкость к многократным деформациям. Благодаря указанным свойствам волокна быстро выходят на поверхность полотна, что ведет к формированию пиллей и очень длительному удерживанию их на поверхности изделия. Напротив, полиакрилонитрильные (например, нитрон) волокна с незначительной прочностью и низкой стойкостью к многократным деформациям дают, как правило, слабый пиллинг. Тонина и форма поперечного сечения волокон оказывают существенное влияние на уровень пиллингуемости. Более тонкие и гладкие волокна имеют большую склонность к образованию пиллинга по сравнению с толстыми волокнами. Для снижения пиллингуемости текстильных изделий выпускают профилированные синтетические

волокна, которые имеют поперечное сечение в виде прямоугольника, треугольника, звездочки. Снижение пиллингуемости или полное ее исключение может быть достигнуто в результате специальной обработки текстильных полотен [2].

Методы исследования

Показатель пиллингуемости, например, для тканей и штучных изделий бытового назначения из химических волокон в соответствии с требованиями ГОСТ 4.51-87 входит в номенклатуру показателей качества по группе свойства назначения.

В технических условиях на отдельные виды тканых и трикотажных полотен установлены соответствующие допускаемые нормативные значения по пиллингуемости (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Номер и наименование нормативного документа	Допускаемые значения кол. пиллей на 10 см ² или баллов (по стандартному методу измерения)
ГОСТ 11518-88. Ткани сорочечные из химических нитей и смешанной пряжи. Общие технические условия	Пиллей не более 3 (ГОСТ 14326-73)
ГОСТ 28253-89. Ткани шелковые и полшелковые плательные и плательно-костюмные. Общие технические условия	Пиллей не более 4 (ГОСТ 14326-73)
ГОСТ 29223-91. Ткани плательные, плательно-костюмные и костюмные из химических волокон. Общие технические условия	Пиллей не более 4...5 (ГОСТ 14326-73)
ГОСТ 28000-2004. Ткани одежные чистошерстяные, шерстяные и полушерстяные. Общие технические условия	Пиллей не более 1...20 (ГОСТ 9913 – 90)
ГОСТ 15968-2014. Ткани чистольняные, льняные и полульняные одежные. Общие технические условия	Пиллей не более 4...9 (ГОСТ 14326-73)
ГОСТ 30385-95. Полотна трикотажные для верхних изделий. Нормы устойчивости к пиллингу	Пиллей не более 1...3 (ГОСТ 30388-95)
ГОСТ Р 59907-2021. Полотна трикотажные. Флис. Технические условия	Баллов не менее 3 (ГОСТ Р ИСО 12945-2-2012)
ГОСТ Р 59578-2021. Полотна трикотажные высокорастяжимые для спортивной одежды. Технические условия	Баллов не менее 5 (ГОСТ Р ИСО 12945-2-2012)

В табл. 2 осуществлен перевод баллов менований в количество пиллей. из шкалы порядка с помощью шкалы наи-

Т а б л и ц а 2

Баллы	Описание	Количество пиллей
5	Нет видимых изменений	0
4	Небольшое появление ворсистой и (или) частично сформированные пилли	0...2
3	Умеренная ворсистость поверхности и (или) умеренные пилли. Пилли разного размера и плотности частично покрывают поверхность пробы	2...10
2	Выраженная ворсистость на поверхности и (или) выраженные пилли. Пилли разного размера и плотности покрывают большую часть поверхности пробы	11...50
1	Густая ворсистость поверхности и (или) резкие пилли. Пилли разного размера и плотности покрывают всю поверхность пробы	более 50

Измерительные операции стандартных методов испытаний для различных видов текстильных полотен приведены в табл. 3. Во всех указанных методах подсчет количества пиллей осуществляется визуально,

что, безусловно, приводит к субъективной (личной) погрешности при определении более четкой границы между понятиями ворсистости и пиллингуемости.

Т а б л и ц а 3

Номер и название нормативного документа	Испытываемые полотна	Измерительные операции
ГОСТ 14326-73. Ткани текстильные. Метод определения пиллингуемости	Тканые полотна (кроме ворсовых тканей и тканей технического назначения)	- подготовка проб; - выбор абразивного материала; - испытания для образования ворсистости (первый этап); - испытания для образования пиллей (второй этап); - подсчет количества пиллей
ГОСТ 9913-90. Материалы текстильные. Метод определения стойкости к истиранию	Чистошерстяные и полушерстяные ткани	- подготовка проб; - выбор абразивного материала; - установление числа циклов испытания; - подсчет количества пиллей
ГОСТ 30388-95/ГОСТ Р 50025-92. Полотна и изделия трикотажные. Метод определения пиллингуемости	Трикотажные полотна	- подготовка проб; - размещение проб на поверхности резиновых трубок с последующим помещением в камеру; - вращение камеры в течение 3 минут; - подсчет количества пиллей
ГОСТ ИСО 12945-1-2022. Материалы и изделия текстильные. Определение стойкости материалов к пиллингу, ворсистости или свойлачиванию (метод с применением камеры)	Тканые и трикотажные полотна	- подготовка проб; - закрепление испытуемых проб на полиуретановых трубках и хаотичное подбрасывание в камере с пробковыми вкладками с постоянной скоростью вращения; - установление числа циклов испытания; - подсчет количества баллов
ГОСТ ИСО 12945-2-2022. Материалы и изделия текстильные. Определение стойкости материалов к пиллингу, ворсистости или свойлачиванию (модифицированный метод Мартиндейла)	Тканые и трикотажные полотна	- подготовка проб; - выбор абразивного материала; - установление числа циклов испытания; - подсчет количества баллов

Для снижения значения субъективной погрешности и повышения точности в оценке исследуемого показателя эксплуатационной надежности текстильных полотен применяют различные способы цифровизации испытаний: формирование цифрового изображения испытываемой пробы с целью дальнейшей обработки, включая его бинаризацию, фильтрацию и сегментацию [3...7]. При этом проблема поиска способов цифровой обработки (в том числе и новых)

испытываемых на истирание проб различных по виду текстильных полотен остается еще актуальной, и по этой причине необходимы соответствующие экспериментальные исследования.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны тканое и трикотажные полотна различного волокнистого состава, поверхностной плотности и вида переплетения (табл. 4).

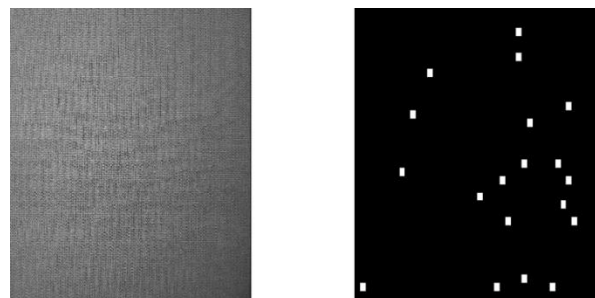
Таблица 4

Образец	Полотно	Вид волокон в составе полотна, %	Поверхностная плотность, г/м ²	Вид переплетения	Назначение
1	Тканое (лицей 230)	Вискозное (50) Лавсановое (50)	235	Саржевое	Костюмное
2	Трикотажное	Хлопковое (80) Лавсановое (20)	180	Футер (2-нитка)	Для домашних изделий
3	Трикотажное	Хлопковое (100)	140	Гладь	Для домашних изделий

Изображение пробы текстильного (тканого) полотна из смесовой пряжи при 2000 циклов его испытаний (рис. 1, а) после соответствующей цифровой обработки, бинаризации, фильтрации и сегментации приведено на рис. 1, б.

Результаты и обсуждения

Результаты экспериментальных исследований образцов, характеристики которых указаны в табл. 4, приведены в табл. 5.



а)

б)

Рис. 1

Таблица 5

Число циклов	Количество пиллей на 10 см ² пробы, определенное стандартным методом / цифровой обработкой					
	полотна			среднее значение	абсолютное отклонение	относительное отклонение
	1	2	3			
125	4/5	6/8	2/3	4,0/5,3	1,3	0,33
500	8/10	10/14	4/6	7,3/10,0	2,7	0,37
1000	12/17	20/24	5/9	12,3/16,7	4,4	0,36
2000	18/20	56/85	11/7	28,3/37,3	9,0	0,32

Анализ данных, приведенных в табл. 5, показывает, что примененный в работе метод цифрового распознавания пиллей на поверхности тканых и трикотажных полотен выявил наличие систематической относительной погрешности относительно стандартного метода (ГОСТ ИСО 12945-2-2022) подсчета количества пиллей, которая изменяется с небольшим трендом по указанным в таблице циклам испытаний, что подтверждает корректность использования предлагаемого цифрового метода распознавания пиллей. Однако в связи с различными способами цифрового распознавания строения поверхности текстильных полотен [8] необходима разработка для каждого из них соответствующих критериев (установление границы) понятий ворсистости как первичного свойства и пиллингуемости как

вторичного свойства исследуемого материала [9].

При необходимости прогнозирования количества пиллей при числе циклов истирания, промежуточном между указанными в табл. 5, для целей непрерывного нормирования можно воспользоваться методом аппроксимации исходных данных [10]. Для этого выбрали линейное уравнение регрессии в виде $Y = aX + b = 0,008X + 6$ (где X – число циклов испытаний пробы; Y – количество пиллей), для чего воспользовались надстройкой «Анализ данных. Регрессия» в MS Excel. Для данного уравнения вычислены коэффициент корреляции ($R = 0,98$) и коэффициент детерминации ($R^2 = 0,96$), а также проведена проверка статистической значимости параметров уравнения регрессии.

ВЫВОДЫ

Стандартные методы измерения показателя пиллингуемости обладают существенной субъективной погрешностью, связанной с отсутствием четких критериев выделения изображения пиллей относительно испытываемой поверхности пробы.

Повышение точности процесса измерения уровня фактической пиллингуемости текстильных полотен после испытаний их на истирание позволяет осуществить дополнительную измерительную операцию, связанная с цифровой обработкой пробы. В связи с различными способами распознавания строения поверхности текстильных полотен необходимо разработать для каждого из них соответствующие критерии (установление границы) понятий ворсистости как первичного свойства и пиллингуемости как вторичного свойства исследуемого материала.

Примененный в работе метод цифрового распознавания пиллей на поверхности тканых и трикотажных полотен выявил наличие систематической относительной погрешности относительно стандартного метода подсчета количества пиллей, которая изменяется с небольшим трендом по указанным циклам испытаний, что подтверждает корректность использования предлагаемого цифрового метода распознавания пиллей. С использованием метода аппроксимации предложено уравнение для непрерывного прогнозирования уровня пиллингуемости относительно числа циклов испытаний на истирание пробы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шустов Ю.С. Основы текстильного материаловедения. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. 302 с.
2. Пикина Н.Ю., Ролдугина А.Е. Влияние структурных характеристик кругловязанных хлопчатобумажных трикотажных полотен на показатели пиллинга и стойкости к истиранию // Научный альманах. 2020. №7-1(69). С. 119...125.
3. Карева Т.Ю., Мирошниченко Д.А., Толубеева Г.И., Болсуновская М.В., Бойков А.В., Лодышкин А.В. Поиск путей совершенствования цифро-

вого представления текстильных материалов с целью обнаружения дефектов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №2. С. 104...108.

4. Hanbay K., Talu M.F., Ozg'üven O.F., Ozt'urk D. Реальное время обнаружения дефектов в трикотаже с использованием преобразования Ширлет // Текстиль и конфекцион. 2019. Т. 29. № 1. С. 1...10.

5. Севостьянов П.А., Фирсов А.В. Информационные и компьютерные технологии в текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №4. С. 107...109.

6. Шеромова И.А., Старкова Г.П., Подрядчикова В.А., Железняков А.С. Экспресс-метод оценки пиллингуемости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2021. №4. С. 95...99.

7. Li C., Yang R., Liu Z., Gao G., Liu Q. Обнаружение дефектов ткани путем изучения визуальной выразительности на основе словаря // International Journal of Clothing Science and Technology. 2016. Т. 28, № 4. С. 530...542.

8. Новосад Т.Н., Сташева М.А., Гоис Т.О. и др. Анализ и перспективы развития цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3. С. 15...33.

9. Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Синяева И.Н., Гусев Б.Н. Выделение качественных характеристик текстильной продукции // Методы менеджмента качества. 2011. №12. С. 34...38.

10. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2005. 840 с.

REFERENCES

1. Shustov Yu.S. Fundamentals of Textile Materials Science. M.: Kosygin Moscow State Technical University, 2007. 302 p.
2. Pikina N.Yu., Roldugina A.E. The influence of structural characteristics of round-knitted cotton knitted fabrics on the indicators of pilling and abrasion resistance // Scientific Almanac. 2020, No.7-1(69). P. 119...125.
3. Kareva T.Yu., Miroshnichenko D.A., Tolubeeva G.I., Bolsunovskaya M.V., Boikov A.V., Lodyshkin A.V. The search for ways to improve the digital representation of textile materials in order to detect defects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2. P. 104...108.
4. Hanbay K., Talu M.F., Ozg'üven O.F., Ozt'urk D. Real-time detection of defects in knitwear using Shirlet transformation // Textiles and confection. 2019. Vol. 29. No. 1. P. 1...10.
5. Sevostyanov P.A., Firsov A.V. Information and computer technologies in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018, No.4. P. 107...109.

6. Sheromova I.A., Starkova G.P., Contractor V.A., Zheleznyakov A.S. Express-method of evaluation of the pilling of textile materials // Izv. vuzov. Technology of Light Industry. 2021, No. 4. P. 95...99.

7. Li C., Yang R., Liu Z., Gao G., Liu Q. Detecting tissue defects by studying visual expressiveness based on a dictionary // International Journal of Clothing Science and Technology. 2016. Vol. 28, No. 4. P. 530...542.

8. Novosad T.N., Stasheva M.A., Gois T.O. etc. Analysis and prospects for the development of digital methods for measuring the properties of textile materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 3. P. 15...33.

9. Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Sinyaeva I.N., Gusev B.N. Highlighting the qualitative characteristics of textile products // Methods of quality management. 2011. No.12. P. 34...38.

10. Verzhbitsky V.M. Fundamentals of numerical methods: textbook for universities. M.: Higher School, 2005. 840 p.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ. Поступила 24.11.23.

УДК 667.017

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_81

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВЫБОР ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКИХ ЭЛАСТИЧНЫХ КОМПРЕССИОННЫХ ЧУЛОЧНО-НОСОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

SYSTEMATIZATION AND SELECTION OF DEFINING QUALITY INDICATORS OF MEDICAL ELASTIC COMPRESSION HOSIERY MADE OF CHEMICAL FIBERS AND THREADS

С.В. ПЛЕХАНОВА

S.V. PLEKHANOVA

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: plekhanova-sv@rguk.ru

В работе проведен анализ свойств и показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий из химических волокон и нитей при помощи схемы Исикавы. Количественная оценка значимости показателей качества чулочно-носочных изделий медицинского назначения осуществлена с использованием экспертного метода. Экспертный опрос проводился среди нескольких групп респондентов, имеющих разное отношение к исследуемым изделиям: потребителей продукции и медицинских работников. В работе проведена оценка степени согласованности мнений экспертов-потребителей и экспертов-медиков с использованием коэффициента ранговой корреляции и коэффициента парной корреляции, определены причины расхождения во взглядах на значимость показателей качества чулочно-носочных изделий. По результатам исследования установлена номенклатура определяющих показателей качества эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий медицинского назначения.

The paper analyzes the properties and quality indicators of medical elastic compression hosiery made of chemical fibers and threads using the Ishikawa scheme. A quantitative assessment of the significance of medical hosiery quality indicators was

carried out using an expert method. The expert survey was conducted among several groups of respondents with different attitudes to the products under study: consumers of products and medical professionals. The work assessed the degree of consistency between the opinions of consumer experts and medical experts using the rank correlation coefficient and the pair correlation coefficient, and determined the reasons for the differences in views on the importance of quality indicators for hosiery products. According to the results of the study, the nomenclature of defining quality indicators of medical elastic compression hosiery for medical purposes has been established.

Ключевые слова: медицинские эластичные компрессионные чулочно-носочные изделия, системный анализ, определяющие показатели качества, экспертный опрос.

Keywords: medical elastic compression hosiery, system analysis, determining quality indicators, expert survey.

Показатели качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий, по которым проводится оценка качества на соответствие требованиям стандарта, регламентированы ГОСТ Р 58236-2020 [1]. Такими показателями являются: растяжимость, рабочая растяжимость, поверхностная плотность, разрывная нагрузка, класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления, изменение линейных размеров после стирки (усадка), остаточная деформация, разрывное удлинение [2].

На практике встречаются задачи по сравнительной оценке качества нескольких вариантов одноименной продукции с целью выбора лучшего образца [3, 4]. Для этих целей используется комплексный метод оценки качества, который основан на использовании одного обобщенного показателя, объединяющего комплекс показателей, выбранных для оценки качества продукции [5]. Для подсчета комплексных оценок качества необходимо знать значимость (весомость) определяющих показателей качества (ОПК), т.е. тех, которые следует использовать при оценке качества [3, 6].

Целью работы является системный анализ и выбор номенклатуры определяющих показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий.

Объектами исследования являются свойства и показатели качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий [7, 8].

Общая методика исследования сводилась к анализу и систематизации свойств и показателей качества эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий медицинского назначения (далее – чулочно-носочные изделия медицинского назначения) с использованием методов системного анализа, а именно причинно-следственной диаграммы (схемы Исикавы) [9, 10]. Априорно устанавливали максимально возможный перечень показателей качества и их взаимосвязь. С использованием схемы Исикавы выбрали номенклатуру ОПК. Количественная оценка значимости ПК чулочно-носочных изделий медицинского назначения проведена с использованием экспертного метода, суть которого сводилась к следующим этапам: организация опроса, проведение опроса, обработка результатов опроса и полученных оценок весомостей, анализ результатов [11, 12, 13].

Причинно-следственная схема взаимного влияния различных показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий, построенная по результатам опроса экспертов, представлена на рис. 1: 1.1 линейная плотность нитей; 1.2 плотность по вертикали и

горизонтали; 1.3 вид переплетения; 1.4 поверхностная плотность; 1.5 сырьевой состав; 2.1 линейные размеры изделия; 2.2 толщина; 3.1 деформация растяжения: 3.1.1 разрывная нагрузка, 3.1.2 разрывное удлинение, 3.1.3 растяжимость; 3.1.4 рабочая растяжимость; 3.1.5 остаточная деформация при растяжении; 3.2 трение и истирание: 3.2.1 стойкость к истиранию; 3.2.2 устойчивость к образованию пиллей (затяжек); 4.1 гигроскопические свойства: 4.1.1 гигроскопичность, 4.1.2 капиллярность, 4.1.3 водопоглощение, 4.1.4 влажность; 4.2 проницаемость: 4.2.1 воздухопроницаемость, 4.2.2 паропроницаемость; 4.3 удельное электрическое сопротивление; 4.4 туше; 5.1 устойчивость окраски к различного рода воздействиям: 5.1.1 к стирке, 5.1.2 к

поту, 5.1.3 к органическим растворителям; 6.1 изменение линейных размеров после стирки; 6.2 класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; 6.3 процентное соотношение давления на различных участках изделия; 6.4 модель, конструкция изделия; 7.1 содержание свободного формальдегида; 7.2 функциональная безопасность; 7.3 санитарно-химические и токсикологические показатели; 7.4 предельно допустимое выделение вредных химических веществ; 7.5 летучие химические вредные вещества; 8.1 художественно-колористическое оформление; 8.2 соответствие дизайна изделия современному направлению моды.

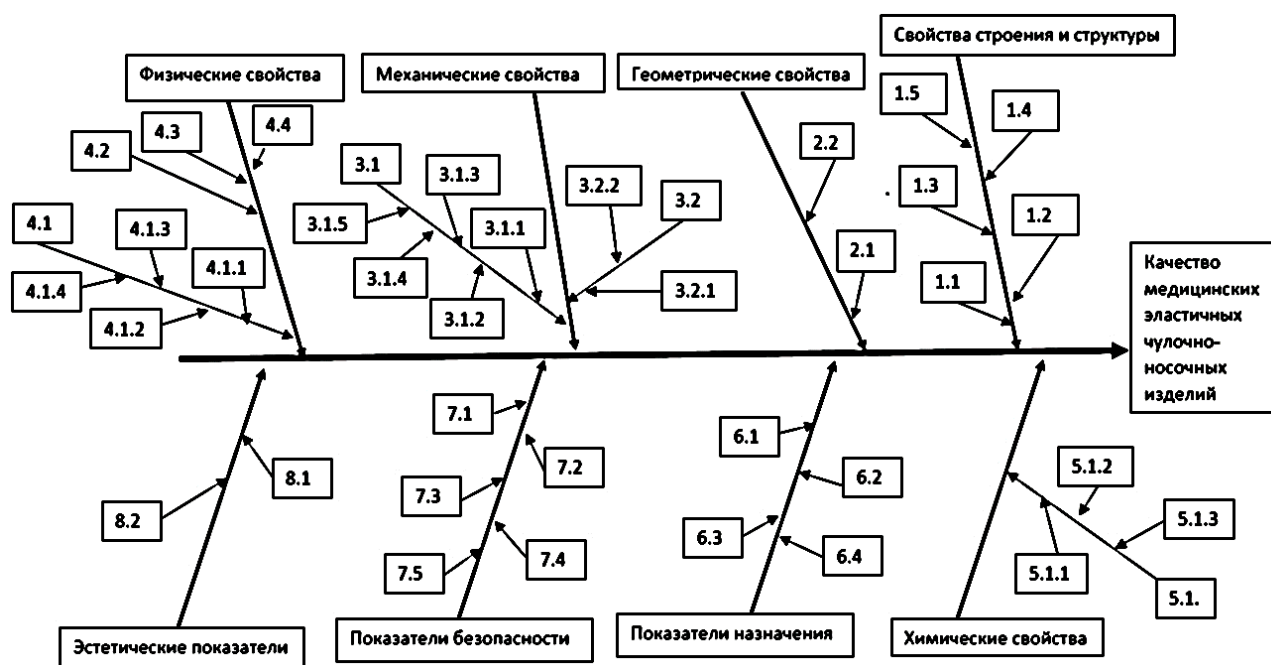


Рис. 1

Опрос проведен среди двух групп экспертов (потребители продукции и медицинские работники). Целью такого подхода к выбору ОПК являлась оценка предлагаемых показателей качества экспертами, имеющими разное отношение к исследуемым изделиям, и анализ полученных результатов [8].

Экспертный опрос проводили, используя показатели качества, которые были выбраны во втором туре обсуждения схемы Исикавы: X_1 – линейные размеры изделия;

X_2 – поверхностная плотность; X_3 – сырьевой состав; X_4 – разрывная нагрузка; X_5 – разрывное удлинение; X_6 – растяжимость; X_7 – рабочая растяжимость; X_8 – остаточная деформация при растяжении; X_9 – класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; X_{10} – функциональная безопасность; X_{11} – санитарно-химические и токсикологические показатели; X_{12} – устойчивость к образованию пиллей (затяжек); X_{13} – стойкость к истиранию; X_{14} – устойчивость окраски к различным воз-

действиям; X_{15} – изменение линейных размеров после стирки (усадка); X_{16} – стоимость; X_{17} – художественно-колористическое оформление; X_{18} – модель, конструкция изделия.

Обработка результатов экспертного опроса сводилась к подсчету коэффициентов конкордации, оценке значимости по критерию Пирсона, определению коэффициентов весомостей оцениваемых показателей [3].

В результате подсчета коэффициента конкордации для двух групп экспертов с вероятностью 0,95 получена значимая, хорошая согласованность мнений экспертов: для потребителей $W=0,72$; для медицинских работников $W=0,79$.

В результате проведенного экспертного опроса в номенклатуру определяющих показателей качества чулочно-носочных изделий медицинского назначения вошли следующие показатели с указанием коэффициентов весомости (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели качества	Коэффициенты весомости показателей качества	
	потребители продукции	медицинские работники
Разрывная нагрузка	-	0,093
Растяжимость	-	0,117
Рабочая растяжимость	-	0,109
Остаточная деформация при растяжении	-	0,108
Класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления	0,139	0,158
Функциональная безопасность	0,106	0,149
Санитарно-химические и токсикологические показатели	-	0,148
Устойчивость к образованию пиллей (затяжек)	0,087	-
Стойкость к истиранию	0,088	-
Устойчивость окраски к различным воздействиям	0,089	-
Изменение линейных размеров после стирки (усадка)	0,077	0,118
Стоимость	0,151	-
Художественно-колористическое оформление	0,127	-
Модель, конструкция изделия	0,136	-

Анализ показателей качества чулочно-носочных изделий медицинского назначения для двух групп экспертов установил следующее.

Для потребителей продукции наиболее значимыми показателями качества являются стоимостные показатели и показатели внешнего вида изделия: модель, конструкция изделия; художественно-колористическое оформление; прочность окраски; устойчивость к образованию пиллей (затяжек). Помимо эстетических показателей потребители отмечают функциональные показатели изделий: класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; функциональную безопасность; устойчивость к истиранию; изменение линейных размеров после стирки.

Для медицинских работников наиболее важными являются показатели функцио-

нального назначения и показатели безопасности: класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; функциональная безопасность; санитарно-химические и токсикологические показатели. Далее идут показатели: изменение линейных размеров после стирки; растяжимость; рабочая растяжимость; остаточная деформация при растяжении; разрывная нагрузка.

Значимыми для двух групп экспертов оказались показатели: класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; функциональная безопасность; изменение линейных размеров после стирки.

Расхождения в значимости показателей качества чулочно-носочных изделий медицинского назначения у двух групп экспертов можно объяснить следующим. Во-пер-

вых, у потребителей и медицинских работников различается подход к значимости показателей качества. Для потребителей продукции важными являются стоимостные показатели и показатели, отвечающие за внешний вид изделия и его сохранность в процессе эксплуатации. Для медицинских работников важно, чтобы компрессионные изделия выполняли свое основное предназначение – лечение или предотвращение развития варикозной болезни. Качество компрессионных изделий определяется способностью поддерживать требуемый уровень давления [14]. Отсюда и приоритет показателей, обеспечивающих хорошие эксплуатационные характеристики изделий и их надежность в процессе эксплуатации. Во-вторых, можно отметить, что некоторые показатели качества просто незнакомы потребителям в силу профессиональной специфики некоторых терминов и показателей [7].

Оценку степени согласованности мнений экспертов-потребителей и экспертов-медиков проводили с использованием коэффициента ранговой корреляции ρ (по средним значениям рангов) и коэффициента парной корреляции r (по коэффициентам значимости показателей качества). В результате проведенных исследований выявлено значительное расхождение во взглядах на значимость показателей качества чу-

лочно-носочных изделий и отмечена низкая согласованность мнений экспертов. Об этом свидетельствует величина коэффициента ранговой корреляции $\rho=0,16$ и коэффициента парной корреляции $r=0,11$.

В работе в качестве определяющих показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий из химических волокон и нитей приняты показатели, которые выбрали медицинские работники: класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления (0,158); функциональная безопасность (0,149); санитарно-химические и токсикологические показатели (0,148); изменение линейных размеров после стирки (0,118); растяжимость (0,117); рабочая растяжимость (0,109); остаточная деформация при растяжении (0,108); разрывная нагрузка (0,093). Такой выбор обусловлен тем, что компрессионные чулочно-носочные изделия медицинского назначения чрезвычайно важны для лечения и профилактики варикозного расширения вен нижних конечностей. И в вопросе выбора номенклатуры ОПК этих изделий необходимо доверять профессионалам. Для наглядности значения весомости оцениваемых показателей представлены в виде гистограммы на рис. 2.

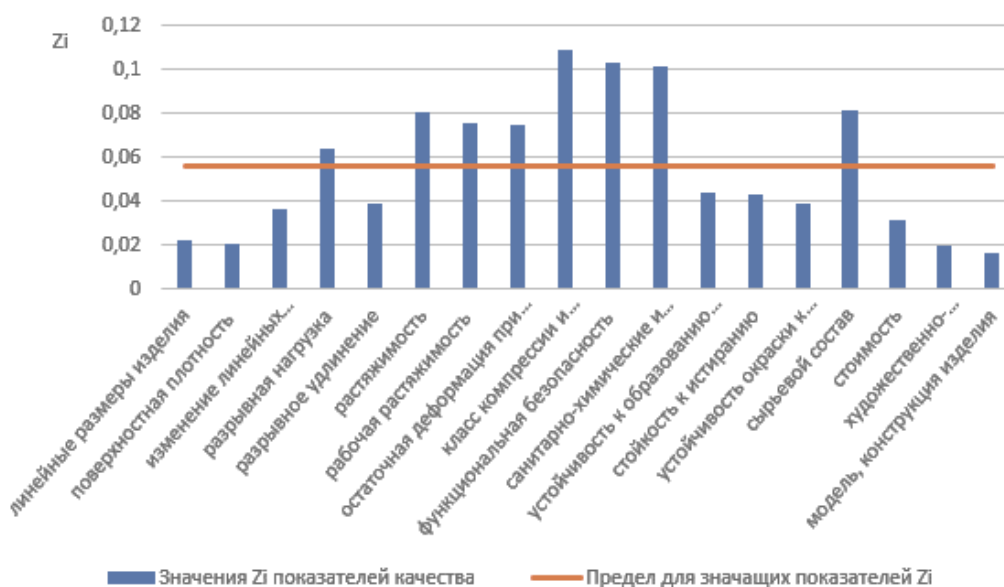


Рис. 2

При необходимости определения согласованности оценок по отдельным показателям можно использовать среднеквадратическое отклонение (σ). Если σ имеет минимальное значение, то согласованность по данному показателю среди экспертов является высокой, если σ имеет значение, большее, чем у остальных среднеквадратических отклонений, то согласованность является низкой. В работе высокая согласованность экспертов отмечается по показателю «класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления», низкая согласованность – по показателю «сырьевой состав».

ВЫВОДЫ

Для систематизации и анализа показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий наиболее эффективным методом является метод причинно-следственной диаграммы (схемы Исикавы).

Определяющими показателями качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий из химических волокон и нитей установлены следующие показатели: класс компрессии и подтверждение обеспечения распределенного давления; функциональная безопасность; санитарно-химические и токсикологические показатели; изменение линейных размеров после стирки; растяжимость; рабочая растяжимость; остаточная деформация при растяжении; разрывная нагрузка.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58236-2020. Изделия медицинские эластичные компрессионные. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. Плеханова С.В., Виноградова Н.А., Строганова Ю.А. Анализ и гармонизация требований нормативной документации к медицинским эластичным компрессионным изделиям из химических волокон и нитей // Международный журнал медицины и психологии. 2021. Т. 4, №1. С. 142...147.
3. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Оценка, контроль и управление качеством текстильных материалов: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2022. 432 с.
4. Новосад Т.Н., Гойс Т.О., Сташева М.А., Ломакина И.А., Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Анализ состояния и направления совершенствова-

ния оценки качества текстильных материалов и изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №4. С. 5...24.

5. Кирюхин С.М. Комплексная оценка одноциклоловых характеристик растяжения текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. №1. С. 16...18.

6. Скрьльникова О.А., Шершинева Л.П. Методика комплексной оценки качества одежды // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2009. №3. С. 59...62.

7. Плеханова С.В., Строганова Ю.А., Виноградова Н.А. Исследование свойств медицинских эластичных компрессионных изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. №5. С. 73...78.

8. Плеханова С.В., Виноградова Н.А. Исследование кинетики изнашивания медицинских эластичных компрессионных изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. №5. С. 78...82.

9. Исикава К. Японские методы управления качеством: [пер. с англ.] / под ред. А.В. Гличева. М.: Экономика, 1988. 214 с.

10. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. СПб.: Питер, 2005. 202 с.

11. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). М.: Экономика, 1982. 256 с.

12. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Экспертные методы при оценке качества тканей // Дизайн и технологии. 2019. № 71. С. 63...70.

13. Бабаханова Х.А., Саодатов А.А., Хасанова М.Э., Камалова С.Р. Оценка качества продукции экспертным методом // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №5. С. 38...44.

14. Маринкина М.А., Зимина М.В., Чагина Л.Л., Богатырева М.С., Смирнова Н.А., Проталинский С.Е. Разработка метода и устройства для определения давления компрессионных трикотажных изделий на тело человека // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. №3. С. 60...67.

REFERENCES

1. GOST R 58236-2020. Medical elastic compression products. General technical requirements. Test methods.
2. Plekhanova S.V., Vinogradova N.A., Stroganova Yu.A. Analysis and harmonization of regulatory documentation requirements for medical elastic compression products made of chemical fibers and threads // International Journal of Medicine and Psychology. 2021. Vol. 4, №1. P. 142...147.
3. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V. Assessment, control and quality management of textile materials: a textbook for universities. St. Petersburg: Lan, 2022. 432 p.

4. *Novosad T.N., Gois T.O., Stasheva M.A., Lomakina I.A., Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N.* Analysis of the state and directions of improvement of quality assessment of textile materials and products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023, №4. P. 5...24.
5. *Kiryukhin S.M.* A comprehensive assessment of single-cycle stretching characteristics of textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2005. №1. P. 16...18.
6. *Skrylnikova O.A., Shershneva L.P.* Methods of complex assessment of the quality of clothing // *Izv. vuzov. Technology of Light Industry*. 2009. №3. P. 59...62.
7. *Plekhanova S.V., Stroganova Yu.A., Vinogradova N.A.* Investigation of the properties of medical elastic compression products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. №5. P. 73...78.
8. *Plekhanova S.V., Vinogradova N.A.* Study of wear kinetics of medical elastic compression products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. №5. P. 78...82.
9. *Ishikawa K.* Japanese methods of quality management: translated from English / Edited by A.V. Glichev. M.: Economics, 1988. 214 p.
10. *Fedyukin V.K.* Process quality management. St. Petersburg: Peter, 2005. 202 p.
11. *Azgaldov G.G.* Theory and practice of assessing the quality of goods (fundamentals of qualimetry). Moscow: Ekonomika, 1982. 256 p.
12. *Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V.* Expert methods in assessing the quality of tissues // *Design and technology*. 2019. № 71. P. 63...70.
13. *Babakhanova Kh.A., Saodatov A.A., Khasanova M.E., Kamalova S.R.* Evaluation of product quality by an expert method // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. №5. P. 38...44.
14. *Marinkina M.A., Zimina M.V., Chagina L.L., Bogatyreva M.S., Smirnova N.A., Protalinsky S.E.* Development of a method and device for determining the pressure of compression knitwear on the human body // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. №3. P. 60...67.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 17.01.24.

УДК 677.025

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_88

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАБОТКИ
ТРИКОТАЖНЫХ ПРИВЯЗАННЫХ ПОЛОТЕН****TECHNOLOGICAL FEATURES OF KNITTED TIED FABRICS PRODUCING**

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

В данной работе рассмотрены варианты выработки привязанных полотен с использованием разделительного ряда. Предложены последовательности вязания вышеназванных полотен с различными структурными эффектами на основном и привязанном полотне. В качестве узоров могут быть использованы эффекты, получаемые, например, на базе ажурных или пресовых переплетений. Представлены основные условия осуществления процесса вязания для различных способов соединения полотен. Проведен анализ визуальных возможных эффектов при соединении полотен. Представлены образцы соединения полотен по разным траекториям. Выявлены особенности выполнения технологии интарзионного соединения полотен. Рассмотрены недостатки и достоинства привязанных полотен. Определено минимальное количество нитеводоов для реализации привязанных полотен на заданной ширине. Результаты работы могут быть использованы при разработке нового ассортимента на трикотажных предприятиях.

In this paper, options for the production of tied canvases using a dividing row are considered. The knitting sequences of the above-mentioned canvases with various structural effects on the main and tied canvas are proposed. The effects obtained on the basis of, for example, openwork or pressed weaves can be used as patterns. The basic conditions for the implementation of the knitting process for various ways of connecting canvases are presented. The analysis of visual possible effects when connecting canvases is carried out. Samples of the connection of canvases along different trajectories are presented. The features of the implementation of the technology of connecting canvases with an intarsion connection are revealed. The disadvantages and advantages of the tied canvases are considered. The minimum number of thread guides for the implementation of tied fabrics at a given width has been

determined. The results of the work can be used in the development of new assortments at knitting enterprises.

Ключевые слова: привязанные трикотажные полотна, основное трикотажное полотно, привязываемый участок, нитевод, соединение полотен, петлеперенос.

Keywords: knitted tied fabrics, main knitted fabric, tied section, thread guide, connection of fabrics, loop transfer.

При выработке привязанных полотен одним из наиболее рациональных способов является способ с применением разделительного ряда, при котором привязанные полотна могут соединяться по поверхности основного полотна в определенном порядке [8]. Способ с разделитель-

телем позволяет не только вырабатывать любое число рядов для привязываемых участков, но и располагать такие элементы на любой ширине (рис. 1 – привязанные полотна по заданной ширине и последовательность их выработки).

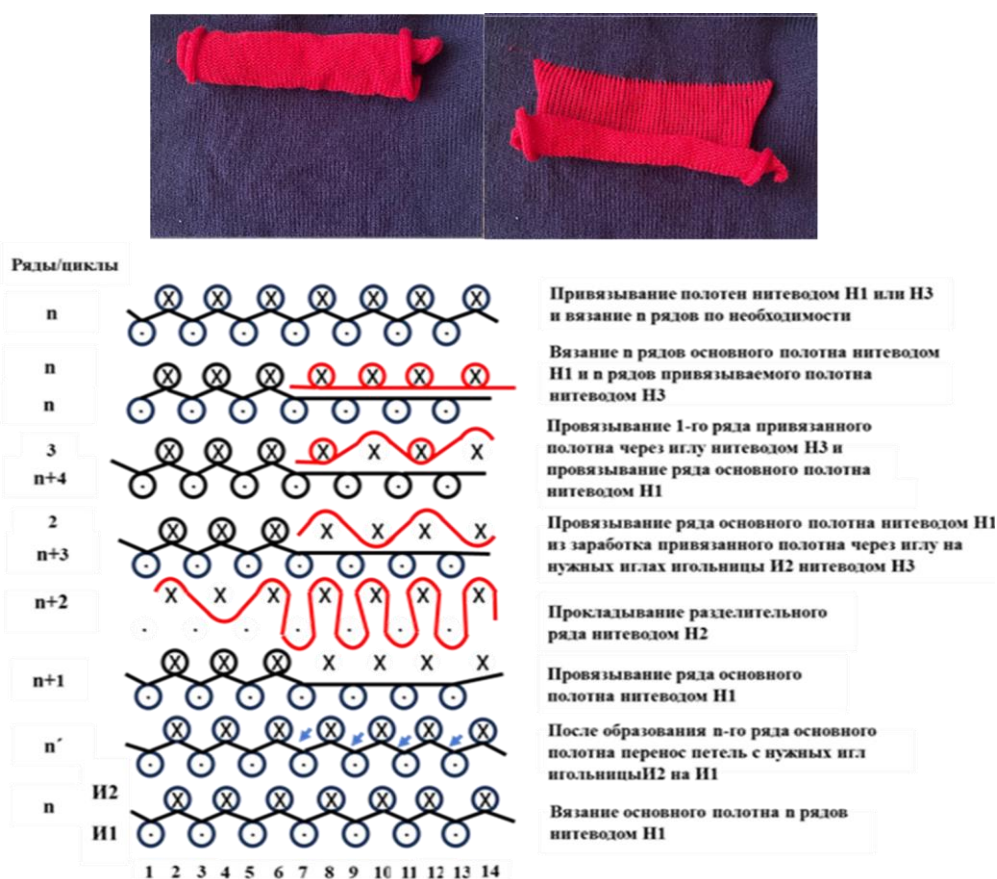


Рис. 1

На основе привязанных полотен можно получать различные визуальные эффекты, осуществляя соединение полотен различными способами, под разными углами, вырабатывая узоры как на основном, так и на привязанном полотне,

которые наиболее эффектно смотрятся на выбранной для конкретного узора ширине привязывания [6].

Одним из способов соединения полотен является интарзионное соединение (рис. 2 – привязанные полотна с соеди-

нением интарзией и фрагмент графической записи) [1, 2]. Такое соединение применяется для более надежной работы

игл и обеспечивает уменьшение их поломки.

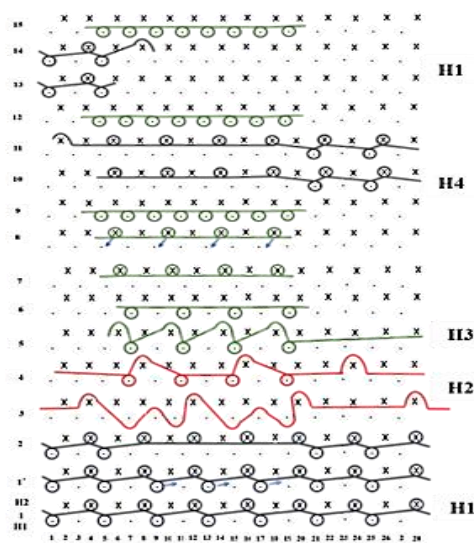


Рис. 2

Для выполнения вышеуказанной технологии привязывания необходимо использовать 4 нитевода: 2 – для прокладывания нити для вязания основного полотна, 1 – для прокладывания нити для вязания разделительного участка и нитевод, с помощью которого образуется привязываемый участок.

Кроме того, следует:

- вырабатывать необходимое число рядов основного полотна переплетением неполный ластик (в приведенном случае через иглу);

- использовать операцию петлепереноса, освобождая таким образом иглы одной из игольниц для заработка привязываемого участка;

- привязываемое полотно вырабатывать переплетением кулирная гладь с прокладыванием нити через иглу;

- образовать ряд основного полотна через одну иглу, причем в зоне вязания привязываемого участка – переплетением кулирная гладь, а по всей ширине основного полотна – ластиком 1+1;

- прокладывать разделительный ряд в 2 этапа: сначала через 3 иглы проложить нить на иглы игольницы, вяжущей основное полотно (И2), для образования

набросков, а на иглы игольницы для привязываемого участка (И1) – через иглу; на втором этапе вязания нить разделительного участка прокладывается на иглы игольницы И2 через 3 иглы со смещением на 1 иглу и образованием петель на иглах с набросками игольницы И1, причем данный раппорт повторяется по всей ширине прокладываемого полотна;

- завести нитевод для привязываемого полотна в зону вязания и образовать ряд петель для привязываемого участка, при этом на свободных иглах игольницы И2 образуются наброски;

- для привязываемого участка использовать переплетение кулирная гладь через иглу на иглах игольницы И1, а в следующем ряду – на иглах игольницы И2;

- выполнить петлеперенос петель привязываемого участка с игл И2 на свободные иглы И1;

- для образования основного полотна под привязанным участком использовать два нитевода (дополнительный справа и нитевод основного полотна слева), причем правый – для выработки кулирной глади через иглу на участке привязываемого полотна с образованием наброска на границе участка, что обеспе-

чивает интарзионное соединение полотен, левый – для выработки основного полотна ластичным переплетением через иглу, заканчивая вязание участка наброском [7];

- для завершения соединения полотен после наработки необходимого числа рядов осуществить петлеперенос элементов привязываемого полотна на иглы игольницы, вяжущей основной участок,

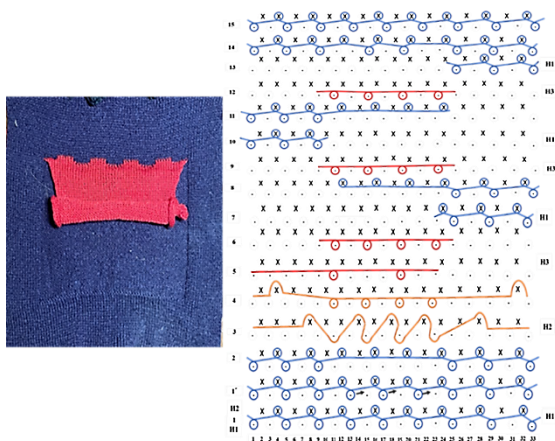


Рис. 3

Базой для такого соединения является описанная выше технологическая последовательность. Для ее реализации требуется 3 нитевода: для вязания основного полотна, разделительного ряда и привязанного полотна. Основным отличием данного способа является соединение привязываемого участка с основным, выполненным кулирной гладью с раппортом прокладывания нити через одну иглу, заданным числом рядов для получения волнистой линии соединения.

Недостатком описанных выше привязанных полотен является выработка участка основного полотна под сегментом привязываемого полотна переплетением кулирная гладь.

Вариант выработки основного полотна ластичным переплетением по всей его ширине с соединением полотен наклонной линией и фрагмент графической записи представлен на рис. 4. Рассмотрим особенности выработки данного варианта привязанных полотен по

и провязать ластичным переплетением с использованием нитевода, предназначенного для вязания основного полотна.

При использовании такого варианта соединения полотен можно выполнить привязывание по фигурной линии (рис. 3 – привязанные полотна с соединением волнистой линией и фрагмент графической записи).

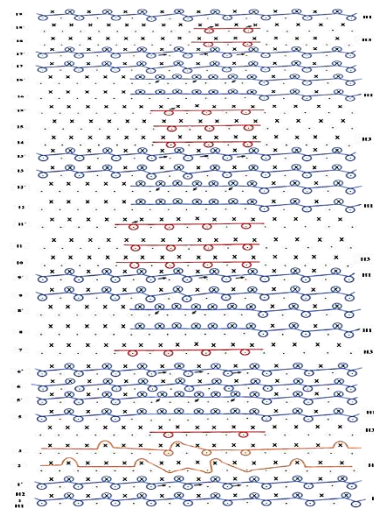


Рис. 4

сравнению с предыдущим. К ним относятся:

- перенос петель основного полотна под участком привязываемого на свободные иглы игольницы И1;
- перенос образованных петель на свободные иглы игольницы И2 через иглу с провязыванием по игольнице И1 привязываемого участка, при этом протяжки привязываемой структуры должны располагаться над лицевыми петлями основного участка;
- перенос петель основного полотна необходимо осуществлять на свободные иглы игольницы И1, не допуская соединения полотен, провязывание ластичного переплетения. Аналогичные действия по выработке основного и привязанного полотен повторяются заданное число раз согласно раппорту;
- для создания наклонной линии соединения слоев необходимо через заданное число рядов привязанного полотна, например через один, осуществлять пе-

ренос крайних петель привязываемого участка с игл игольницы И1 на иглы И2 со смещением вправо на 1 иглу и включением крайней иглы для выработки основного полотна на игольнице И1.

Результатом такого варианта выработки привязанного полотна является его треугольная конфигурация.

При выполнении привязанных полотен можно изготавливать основное полотно практически любым рисунчатым переплетением на базе ластика или глади. Выполнение рисунчатого эффекта на привязанном полотне ограничено его

структурой. При этом на привязанном участке можно выработать узоры, например, прессовыми петлями, с колористическим эффектом в виде цветных поперечных полос, жаккардовые рисунки, ажурные элементы и т.д. [3]. На рис. 5 показан пример привязанных полотен с узором по основному и привязываемому полотнам и фрагмент графической записи в программе вязания, где основное полотно получено с использованием прессового переплетения, а на привязанном участке выполнен узор из ажурных отверстий.

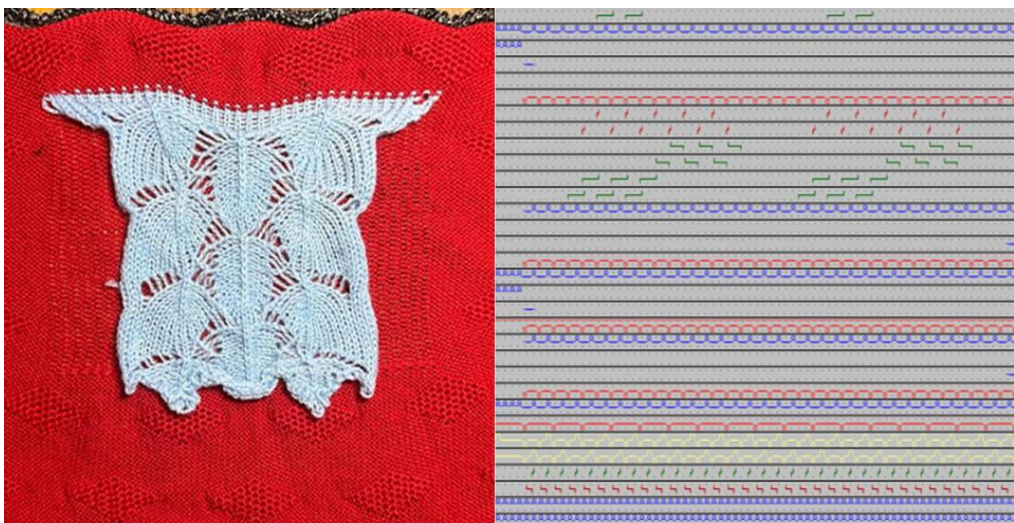


Рис. 5

Для получения данного узорного эффекта необходимо:

- использовать минимум три нитевода;
- выработать необходимое количество рядов кулирной глади основного полотна с прессовыми петлями, формирующими узор согласно заданному раппорту, на каждой игле одной из игольниц;
- для образования разделительного участка осуществить петлеперенос элементов основного полотна по ширине привязываемого участка через одну иглу на иглы передней игольницы и затем на соседние иглы своей игольницы;
- проложить нить разделительного участка на иглы по всей ширине полотна с образованием набросков через 7 игл по

игольнице, на которой вяжется основное полотно. В зоне выработки привязываемого полотна разделительную нить проложить набросками на иглы обеих игольниц с разным раппортом (на игольнице, предназначенной для выработки привязанного полотна, – с раппортом через иглу, основного – через две);

- далее разделительная нить прокладывается набросками на свободные иглы игольницы, вяжущей основное полотно, и образует петли на иглах игольницы, предназначенной для вязания привязанного полотна;

- с помощью нитевода, заправленного нитью для выработки привязываемой части, подать ее на игольницу для выработки кулирной глади через три иглы;

- образовать ряд основного полотна соответствующим нитеводом, причем до сегмента выработки привязанного полотна выработать прессовое переплетение на базе кулирной глади с прессовыми петлями, образующими рисунок, а в месте выработки привязываемой части подать ее на игольницу через одну иглу;

- образовать ряд привязываемого и ряд основного полотна;

- согласно заданному рапорту узора привязываемого участка осуществить перенос петель на свободные иглы игольницы основного полотна со сдвигом, равным 3 игольным шагам, и обратный перенос петель на свободные иглы игольницы привязываемого полотна согласно рапорту, провязать ряд кулирной глади. Повторить заданное количество циклов;

- после окончания выработки необходимого размера привязываемого участка осуществить перенос петель на иглы игольницы основного полотна и провязать по всей его ширине кулирной гладью, что обеспечит соединение полотен.

ВЫВОДЫ

Таким образом, при выработке привязанных полотен на заданной ширине одним из обязательных условий является использование минимум трех нитеводов и обеспечение контроля их расположения в зоне вязания и относительно игл. Использование нескольких нитеводов предполагает многовариантность последовательности их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства: учебник для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 495 с.

2. Кудрявин Л.А., Колесникова Е.Н., Заваруев В.А. Основы проектирования инновационных технологий трикотажного производства: учебник. М.: МГУДТ, 2016. 241 с.

3. Марисова И.О. Трикотажные рисунчатые переплетения. 2-е изд. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 215 с.

4. Поспелов Е.П. Двухслойный трикотаж: учебное пособие. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 207 с.

5. Корниенко Е.И., Заваруев В.А., Фомина О.П., Пивкина С.И., Куприянова Т.О. Способ вязания двойного кулирного трикотажа с дополнительным петельным слоем // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №2. С. 193...197.

6. Муракаева Т.В., Николаева Е.В. Анализ и разработка способов выработки трикотажных привязанных полотен на плосковязальном оборудовании // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №6. С. 113...118.

7. Николаева Е.В., Муракаева Т.В., Пивкина С.И. Анализ структуры интарзийных полотен с ажурным способом соединения и работы нитеводов при их выработке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №6. С. 129...132.

8. Большакова Н.И., Цитович И.Г. К исследованию процесса оттяжки петель на плоскофанговых машинах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1972. №5.

REFERENCES

1. Kudryavin L.A., Shalov I.I. Fundamentals of knitting production technology: textbook for universities. M.: Legprombytizdat, 1991. 495 p.

2. Kudryavin L.A., Kolesnikova E.N., Zavaruev V.A. Fundamentals of designing innovative knitting production technologies: textbook. M.: MGUDT, 2016. 241 p.

3. Marisova I.O. Knitted patterned weaves: 2nd ed. M.: Light and food industry, 1984. 215 p.

4. Pospelov E.P. Two-layer knitwear: textbook. M.: Light and food industry, 1982. 207 p.

5. Kornienko E.I., Zavaruev V.A., Fomina O.P., Pivkina S.I., Kupriyanova T.O. Method of knitting double kulirniy knitwear with an additional loop layer // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. No. 2. P. 193...197.

6. Murakaeva T.V., Nikolava E.V. Analysis and development of methods for producing tied knitted fabrics on flat knitting machines // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №6. P. 113...118.

7. Murakaeva T.V., Nikolava E.V., Pivkina S.I. Analysis of structures intarsia canvas with openworks method for compound and the work of yarn guides in their generation // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. №6. P. 129...132.

8. 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.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 06.10.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЛАГОПЕРЕНОСА
В СТРУКТУРЕ МНОГОСЛОЙНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ НОСКИ¹**

**STUDY OF THE PROCESS OF MOISTURE TRANSFER
IN THE STRUCTURE OF MULTILAYER TEXTILE MATERIAL
UNDER OPERATING CONDITIONS WEARING**

Н.В. СКОБОВА, Н.Н. ЯСИНСКАЯ, А.И. СОСНОВСКАЯ

N.V. SKOBOVA, N.N. YASINSKAYA, A.I. SOSNOVSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru, skobova-nv@mail.ru, kolbasnikowa2018@yandex.by

Многослойные текстильные материалы, применяемые для производства специальной защитной одежды, должны обеспечивать термофизиологический комфорт при эксплуатации, достигнуть который можно путем проектирования послойной структуры материала с заданной влаго- и паропропускаемостью, что позволит поддерживать тепловой баланс в пододежном пространстве при различных уровнях активности и воздействии внешних факторов окружающей среды.

Статья посвящена исследованию процесса влагопереноса в структуре трехслойного текстильного материала для специальной защитной одежды, эксплуатируемого в условиях повышенной активности при постоянной температуре и влажности внешней среды и различной подвижности воздуха. В качестве объектов исследований разработаны трехслойные структуры, состоящие из тканого и двухслойного трикотажного полотен. Полотно получено с использованием полиэфирных функциональных нитей в слое, прилегающем к телу человека: нить с функцией управления влагой Quick Dry, микрофиламентная нить Soft, полая нить Thermo, во втором слое использованы полиэфирные традиционные нити. Слои в трикотажной структуре соединены соединительными накидами.

Для определения количества испаренной влаги с поверхности многослойного текстильного материала применялся гравиметрический метод, базирующийся на стандартной методике AATCC 201-2012 «Drying Rate of Fabrics: Heated Plate Method». Анализ полученных результатов позволил установить закономерности испарения влаги с поверхности многослойного материала в условиях вынужденной конвекции с учетом морфологии применяемых функциональных нитей, в результате чего выбрано несколько многослойных структур для изготовления специальной защитной одежды с улучшенным термофизиологическим комфортом при эксплуатации.

Multilayer textile materials used for the production of special protective clothing must provide thermophysiological comfort during wearing, which can be achieved by designing a layer-by-layer structure of the material with a given moisture and

¹Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023)", которая состоялась 9-10 ноября 2023 года в учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).

vapor permeability, which will allow maintaining thermal balance in the space under clothing at various levels of activity and exposure to external environmental factors environment.

The article is devoted to the study of the process of moisture transfer in the structure of a three-layer textile material for special protective clothing, used in conditions of increased activity at constant temperature and humidity of the external environment and varying air mobility. Three-layer structures consisting of woven and two-layer knitted fabrics have been developed as research objects. The fabric is made using polyester functional threads in the layer adjacent to the human body: thread with Quick Dry linear density moisture management function, Soft microfilament thread, Thermo hollow thread, in the second layer traditional polyester threads are used. The layers in the knitted structure were connected by connecting yarn overs. To determine the amount of evaporated moisture from the surface of a multilayer textile material a gravimetric method based on the standard AATCC 201-2012 "Drying Rate of Fabrics: Heated Plate Method" was used. Analysis of the results obtained made it possible to establish patterns of moisture evaporation from the surface of a multilayer material under conditions of forced convection, taking into account the surface morphology of the functional threads used, as a result of which several multilayer structures were selected for the manufacture of special protective clothing with improved thermophysiological comfort during wearing.

Ключевые слова: многослойный текстильный материал, функциональные нити, скорость испарения, температурные кривые испарения, защитная одежда.

Keywords: multilayer textile material, functional threads, evaporation rate, evaporation temperature curves, protective clothing.

Введение

Как известно [1], для изготовления специальной защитной одежды особую актуальность имеют многослойные текстильные материалы (МТМ). Последовательное наложение текстильных полотен с различными характеристиками в единую структуру позволяет варьировать свойства создаваемых материалов в очень широких диапазонах, регулировать их поверхностные, объемные, гигиенические и теплофизические характеристики. В МТМ комбинируют различные текстильные полотна: ткань/ткань, ткань/трикотаж, ткань/нетканое полотно (лицевой/изнаночный), различного сырьевого состава, поверхностной плотности, способа соединения слоев.

Многослойные материалы, применяемые для производства специальной защитной одежды, должны обеспечивать термофизиологический комфорт при эксплуатации. Достигается это путем поддержания

теплового баланса в пододежном пространстве при различных уровнях активности и воздействии внешних факторов окружающей среды, на который в значительной степени влияют влаго- и паропроницаемость многослойной структуры. В результате испарения влаги с поверхности кожи человека происходит конденсация пара в виде капельно-жидкой фазы и намокание одежды. При проектировании МТМ необходимо стремиться к тому, чтобы облегчить процесс испарения влаги с поверхности кожи человека, обеспечить удаление испарений и влаги во внешнюю среду.

Авторами исследованы показатели функции управления влагой однослойных и двухслойных трикотажных структур с использованием в их составе функциональных полиэфирных нитей [2, 3]. Установлено, что полотна из нитей Quick Dry являются быстро впитывающими материалами, однако их нельзя классифицировать как

быстро сохнущие. Полотна из микрофиламентных нитей Soft обладают двойным эффектом: быстро впитывают и быстро испаряют влагу, что позволит применять их для изготовления изделий с заданными термо- и влагорегулирующими свойствами. Показано значительное снижение теплопроводности двухслойных трикотажных полотен при использовании в качестве составляющих модифицированных полиэфирных нитей Thermo. На основании полученных результатов исследований принято решение об использовании двухслойных трикотажных структур в качестве одного из слоев при формировании многослойного текстильного материала для изготовления специальной защитной одежды.

Цель исследований – установить кинетические закономерности испарения влаги с поверхности многослойного материала для специальной защитной одежды, эксплуатируемой в условиях повышенной активности при постоянной температуре и влажности внешней среды и различной скорости движения воздуха. Предложить рациональные структуры материалов, позволяющие регулировать тепловой баланс пододежного пространства в зависимости от интенсивности физической нагрузки и условий внешней среды.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследований разработаны трехслойные структуры, состоящие из тканого и трикотажного полотен. Лицевая сторона МТМ – хлопкополиэфирная ткань (ХПЭ) поверхностной плотности

200 г/м², изнаночная сторона – двухслойное трикотажное полотно комбинированного переплетения на базе ластика целостной структуры (табл. 1 – свойства исходных материалов). Полотно получено с использованием полиэфирных функциональных нитей в слое, прилегающем к телу человека: нить с функцией управления влагой Quick Dry линейной плотности 18,7 текс (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 текс (f288), полая нить Thermo 16,7 текс (f96), а во втором слое использованы полиэфирные традиционные нити PEC 16,7 текс (f48). Слои в трикотажной структуре соединялись соединительными накидами. В результате сформированы образцы (рис. 1 – графическое изображение формируемой структуры МТМ: 1 – ткань; 2 – термопластичный клей; 3 – слой из полиэфирной нити в структуре трикотажного полотна; 4 – слой из функциональной нити в структуре трикотажного полотна):

- образец 1 – ХПЭ/полотно Quick/PEC;
- образец 2 – ХПЭ/полотно Thermo/PEC;
- образец 3 – ХПЭ/полотно Soft/PEC.



Рис. 1

Т а б л и ц а 1

Параметр	Материал верха (ХПЭ ткань)	Трикотажное полотно Quick/PEC	Трикотажное полотно Thermo/ PEC	Трикотажное полотно Soft/ PEC
Толщина, мм	0,39	1,14	1,12	1,11
Поверхностная плотность, г/м ²	200	248	230	250
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с	67,5	715	755	514

Формирование многослойной структуры осуществлялось методом равномерного точечного нанесения термопластичного клеевого порошка на основе полиамидного сополимера на тканую основу с последующим инфракрасным нагревом гранул порошка и дублированием с двух-

слойным трикотажным полотном на охлаждающих каландрах [4, 5]. Выбранный способ соединения не препятствует транспорту влаги и водяных паров через структуру многослойного материала. Усредненные параметры режимов формирования многослойной структуры представлены в

таблице 2 (табл. 2 – технологические режимы формирования многослойной структуры).

Т а б л и ц а 2

Температура нагрева, °С	Усилие сжатия, кПа	Продолжительность операции, с	Меш-число
120...160	10...20	10...15	7...13

Для определения количества испаренной с поверхности МТМ влаги применялся гравиметрический метод. Образцы многослойного материала размером 10x10 см выдерживались в нормальных климатических условиях (температура 21 °С и относительная влажность 65%) в течение 24 ч. Подготовленные пробы размещались на нагревательной пластине, имеющей температуру тела потеющего человека (37°С) [6, 7], в течение 5 минут, что позволило исследуемому образцу нагреться до температуры металлической пластины. Образец слоem из функциональных нитей прижимался к металлической пластине для имитации контакта тела человека с материалом. Подача воздуха осуществлялась вентилятором при заданных режимах: 0,5 м/с и 1,5 м/с (рис. 2 – лабораторный стенд для оценки скорости испарения: 1 – нагревательная пластина; 2 – вентилятор; 3 – анемометр; 4 – образец; 5 – весы). Используя бесконтактный метод измерения температуры (пирометр), снимали показания температуры поверхности прогретого образца (начальное значение), после чего на нагревательную плиту наносили каплю жидкости (искусственный пот) объемом 0,3 мл и сверху укладывали образец. Через равные промежутки времени снимали показания температуры поверхности и определяли массу испарившейся жидкости, после чего рассчитывали скорость испарения жидкости с поверхности материала. Данный метод, базирующийся на стандартной методике ААТСС 201-2012 «Скорость сушки тканей: метод нагревательной пластины», позволит провести сравнительный анализ кинетики влагопереноса в многослойных материалах с учетом специфики применяемой функциональной нити в структуре пакета и температурных режи-

мов инфракрасного нагрева при формировании многослойной структуры [8].

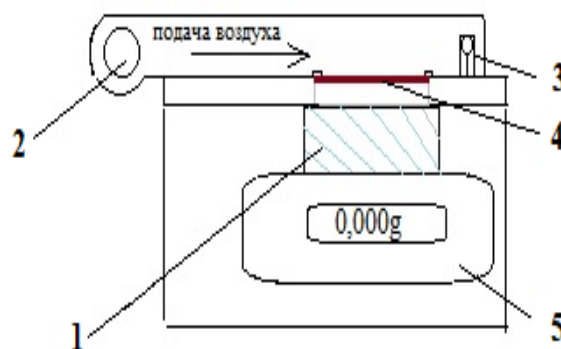


Рис. 2

Результаты и обсуждения

Поскольку образец имеет небольшую начальную влажность (неполное смачивание), основными механизмами изотермического переноса влаги будут нормальная диффузия пара и жидкости, капиллярное течение жидкости. Испаряясь с поверхности тела, парообразная влага проходит через слой трикотажного материала из полиэфирных функциональных нитей. При интенсивном потоотделении избыточное количество влаги поглощается с поверхности тела мелкими капиллярами функциональной нити (капиллярное впитывание). Под действием градиента влажности влага диффундирует от участка трикотажного полотна из функциональных нитей к сухому участку из традиционных полиэфирных нитей с капиллярами большего размера и далее всасывается капиллярами меньшего размера хлопкополиэфирной ткани. С внешней стороны увлажненной хлопкополиэфирной ткани происходит изотермическое испарение в условиях вынужденной конвекции.

Анализ данных кривых испарения показывает, что увеличение скорости воздушного потока приводит к уменьшению времени испарения примерно на 25% для всех типов испытываемых образцов.

Результаты показывают, что критическая влажность является функцией скорости движения воздушного потока $W_{кр} = f(V)$, с увеличением скорости критическая

влажность растёт для всех анализируемых образцов. С использованием плана первого порядка полного факторного эксперимента, в котором варьируемыми факторами выбраны температура инфракрасного нагрева при формировании многослойной структуры и скорость воздушного потока, разработаны теоретико-экспериментальные модели указанной зависимости, анализ которых показывает, что с повышением скорости воздуха увеличивается значение критического влагосодержания, причем у образца 3 оно наибольшее из сравниваемых. Температурные режимы при формиро-

вании МТМ практически не влияют на критическое влагосодержание образцов:

$$W_{кр.обр1} = 10,25 + 2,75V \quad (R^2 = 0,96), \quad (1)$$

$$W_{кр.обр2} = 12,12 + 3,37V \quad (R^2 = 0,98), \quad (2)$$

$$W_{кр.обр3} = 14,5 + 4,0V \quad (R^2 = 0,96). \quad (3)$$

Результаты исследований кинетики испарения и температурные кривые испарения жидкости с поверхности многослойного материала в условиях вынужденной конвекции представлены на рис. 3.

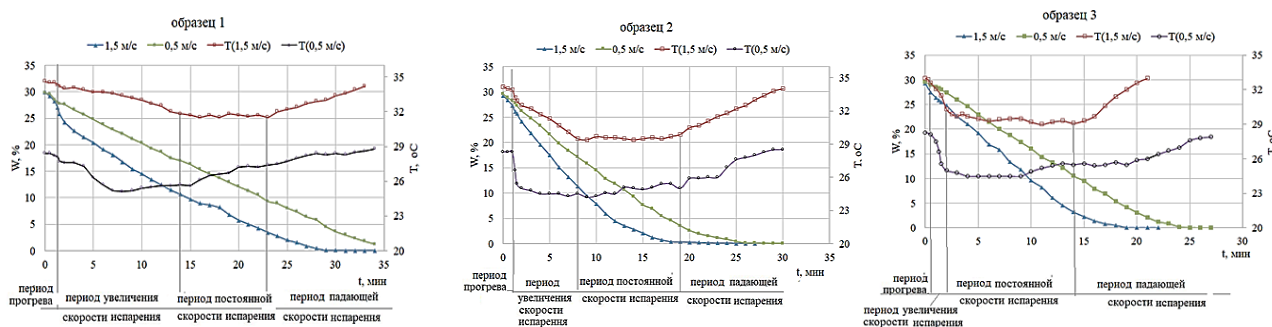


Рис. 3

На температурных кривых испарения можно выделить несколько характерных периодов влагопереноса. На начальном этапе около 30-60 с не наблюдалось значительных изменений температуры, что указывало на прогрев материала [9]. Наиболее протяженный этот период у образца 1, имеющего в своей структуре нити Quick Dry с тетраканальным профилем поперечного сечения, обеспечивающим быстрое впитывание капли влаги и ее аккумуляцию на участке с малой площадью смачивания [3]. Затем в течение некоторого времени происходит перенос влаги от внутреннего слоя к внешнему, температура на поверхности образца снижается, что соответствует периоду увеличения скорости испарения. Наиболее продолжительный период с малым перепадом температуры ΔT отмечается у образца 1, что указывает на невысокие транспортные свойства слоя из функциональной нити Quick Dry за счет прочного удерживания влаги в узких боковых капиллярах нити. У образца 2 высокая подвиж-

ность воздуха приводит к замедлению процесса переноса влаги от нижнего слоя к верхнему (длительность периода 6 мин). Непродолжительный период уменьшения температуры отмечается у образца 3 с вложением микрофиламентной нити. Из-за высокой скорости поглощения [2] и образования большой площади смачивания происходит быстрое испарение влаги. При малой скорости воздуха градиент температуры снижается у всех образцов.

Когда влагосодержание воздуха над материалом равно влагосодержанию воздуха над жидкостью, испарение происходит с постоянной скоростью. При низкой скорости движения воздуха длительность периода постоянной скорости испарения наибольшая из анализируемых для всех образцов. С уменьшением влагосодержания над поверхностью материала происходит повышение температуры – период падающей скорости испарения. Продолжительным этот период является для образца 1 независимо от скорости движения воздуха.

Благодаря микропористой структуре функционального слоя у образца 3 этот период кратковременный во всех сериях опытов.

Построены кривые скорости испарения влаги с поверхности многослойных материалов (рис. 4). На первой стадии процесса наблюдается период постоянной скорости испарения влаги (область удаления свободной влаги – участки BC, BC'). В этот период наблюдается большой перепад влажности внутри материала. Лимитирующее влияние на скорость испарения имеет скорость поверхностного испарения, т.е. внешняя диффузия [10]. В первом периоде испарения влага внутри материала перемещается в виде жидкости (капиллярная влага). Над поверхностью влажного материала образуется насыщенный пар ($\theta = 100\%$), находящийся в равновесии с водой.

Максимальной скоростью испарения при критической влажности в первом периоде сушки обладает образец 3 с микрофиламентной нитью, вложенной в прилегающий

к телу человека слой, что объясняется наличием большого числа микропор в полотне, способствующих увеличению скорости движения фронта поверхностной пропитки полотна при смачивании и площади испарения. Более длительный первый период испарения наблюдается у материалов с вложением нити с функцией управления влажностью. Морфология поверхности нити способствует удерживанию влаги в боковых капиллярах, снижая скорость испарения.

По мере обезвоживания материала наружная поверхность не успевает смачиваться малым количеством подводимой изнутри влаги. Она становится сухой, ее температура повышается. Скорость испарения влаги из материала непрерывно уменьшается, наступает второй период – линейно убывающей скорости испарения. В этом периоде сначала испаряется капиллярно-сконденсированная влага, затем сконденсированная в узких капиллярах.

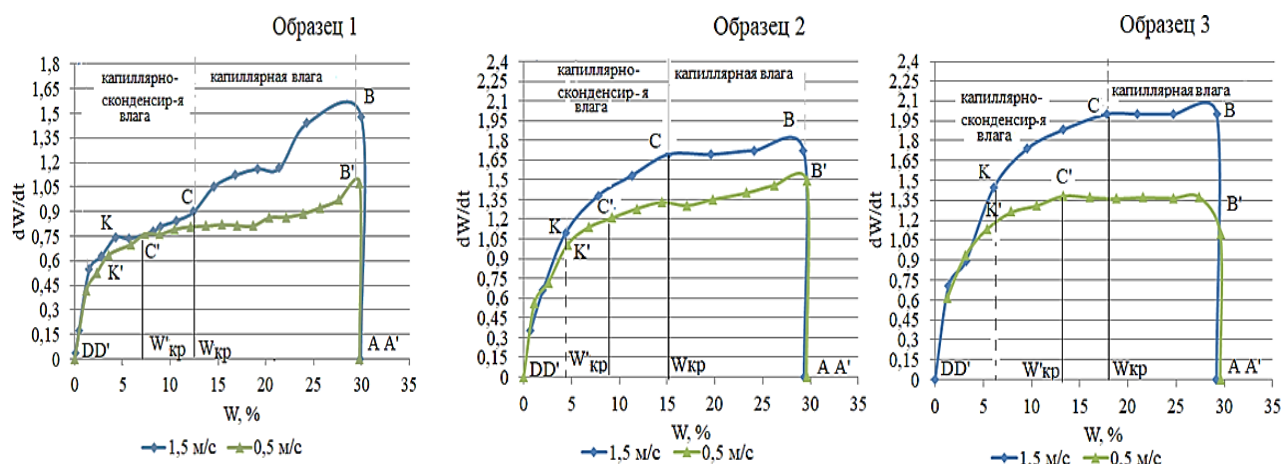


Рис. 4

Для анализируемых материалов характерно разделение периода падающей скорости испарения на два участка различной продолжительности, обусловленных особенностями морфологии поверхности функциональных нитей, а именно наличием мелких капилляров (K и K' – точки раздела участка). Длительность периода падающей скорости испарения для образца 1 составляет 8 минут, образца 2 – 6 минут, образца 3 – 5 минут.

ВЫВОДЫ

Проанализирован процесс влагопереноса и установлены кинетические закономерности испарения влаги в многослойных материалах, полученных с использованием функциональных нитей, при эксплуатационных условиях носки.

Установлено, что температура формирования многослойных пакетов методом равномерного точечного нанесения термо-

пластичного клеевого порошка с последующим инфракрасным нагревом не влияет на транспорт водяных паров и влаги. Увеличение скорости воздушного потока приводит к возрастанию критической влажности материалов, уменьшению времени испарения примерно на 25% для всех типов испытуемых образцов. Применение микрофиламентной нити Soft в структуре одного из слоев многослойного материала позволяет увеличить скорость испарения пота.

Экспериментально определено наличие двух характерных участков в периоде падающей скорости и испарения, обусловленных особенностями морфологии поверхности функциональных полиэфирных нитей.

Разработанные структуры многослойных материалов с использованием нитей Soft и Thermo могут быть рекомендованы для изготовления специальной защитной одежды с улучшенным термофизиологическим комфортом при эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хисамиева Л.Г., Абуталипова Л.Н., Хисамиев А.И., Гатина Г.Г. Многослойные композиционные материалы в проектировании одежды // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №15. – <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogosloynnye-kompozitsionnye-materialy-v-proektirovanii-odezhdy>. – Дата обращения 06.09.2023.
2. Ясинская Н.Н., Скобова Н.В. Влагоперенос в текстильных материалах из функциональных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 56...61.
3. Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Воробьева А.С. Исследование влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных структур для функциональной одежды // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2023. № 1 (44). С. 49...58.
4. Шайдоров М.А. Клеевые материалы и клеевые соединения при производстве одежды. Витебск: ВГТУ, 2003. 133 с.
5. Ивашкевич Е.М., Гарская Н.П., Филимонова Р.Н. Методы соединения деталей одежды и влажно-тепловая обработка. Витебск: ВГТУ, 2007. 114 с.
6. AATCC 201 Drying Rate of Fabrics: Heated Plate Method. – <http://aatctestmethods.com/test-methods/aatcc-201-drying-rate-of-fabrics-heated-plate-method/>. – Дата обращения 07.09.2023.
7. Mandal S., Chowdhury I.Z., Mazumder N.-U.-S., Agnew R.J., Boorady L.M. Characterization of Sweat

Drying Performance of Single Layered Thermal Protective Fabrics Used in High-Risk Sector Workers' Clothing. *Polymers*. 2022. P14. – <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/24/5393>. – Дата обращения 08.09.2023.

8. Heinisch T., Bajzik V., Hes L. New methodology and instrument for determination of the isothermal drying rate of cotton and polypropylene fabrics at constant air velocity. – <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1558925019873482>. – Дата обращения 06.09.2023.

9. Почекутов И.С., Рязанова Т.В. Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы. Красноярск: СибГАУ, 2016. 92 с.

10. Гордеев Л.С. Процессы и аппараты химической технологии. – https://studme.org/273308/tehnika/perenos_massy_poristyh_telah. – Дата обращения 08.09.2023.

REFERENCES

1. Hisamieva L.G., Abutalipova L.N., Hisamiev A.I., Gatina G.G. Multilayer composite materials in clothing design // Bulletin of Kazan Technological University. 2015. №15. – <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogosloynnye-kompozitsionnye-materialy-v-proektirovanii-odezhdy>. – Access date 06.09.2023.
2. Yasinskaya N.N., Skobova N.V. Moisture transfer in textile materials from functional threads // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 4 (400). Pp. 56...61.
3. Skobova N.V., Yasinskaya N.N., Vorobyeva A.S. Investigation of moisture-regulating properties of two-layer knitted structures for functional clothing. Vestnik of the Vitebsk State Technological University. 2023. No. 1 (44). Pp. 49...58.
4. Shaidorov M.A. Adhesive materials and adhesive compounds in the manufacture of clothing. Vitebsk: VSTU, 2003. 133 p.
5. Ivashkevich E.M., Garskaya N.P., Filimonenkova R.N. Methods of connecting clothing parts and wet-heat treatment. Vitebsk: VSTU, 2007. 114 p.
6. AATCC 201 Drying Rate of Fabrics: Heated Plate Method. Access mode: <http://aatctestmethods.com/test-methods/aatcc-201-drying-rate-of-fabrics-heated-plate-method/>. – Accessed 07.09.2023.
7. Mandal S., Chowdhury I.Z., Mazumder N.-U.-S., Agnew R.J., Boorady L.M. Characterization of Sweat Drying Performance of Single Layered Thermal Protective Fabrics Used in High-Risk Sector Workers' Clothing. *Polymers*. – <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/24/5393>. – Access date 08.09.2023.
8. Heinisch T., Bajzik V., Hes L. New methodology and instrument for determination of the isothermal drying rate of cotton and polypropylene fabrics at constant air velocity. – <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1558925019873482>. – Access date 06.09.2023.
9. Pochekutov I.S., Ryzanova T.V. Mass transfer processes in systems involving the solid phase. Krasnoyarsk: SibGAU, 2016. 92 p.

УДК 677.017.822

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_101

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СОСТАВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ПОВЫШЕННЫМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF TECHNICAL FABRICS
USED IN COMPOSITE MATERIALS
WITH INCREASED ANTIFRICTION PROPERTIES**

П.Е. САФОНОВ¹, Н.М. ЛЕВАКОВА¹, Г.С. КУЛАГИНА², Г.Ф. ЖЕЛЕЗИНА², С.С. ЮХИН³

P.E. SAFONOV¹, N.M. LEVAKOVA¹, G.S. KULAGINA², G.F. ZHELEZINA², S.S. YUKHIN³

¹ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»,

²НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ,

³Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

¹TEKS-CENTRE Ltd,

²NIC "Kurchatov Institute" – VIAM,

³Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: info@teks-centre.ru, pavlin722007@yandex.ru

Исследование посвящено вопросам проектирования и оценки физико-механических свойств технических тканей полутораслойных переплетений, используемых в качестве наполнителей самосмазывающихся антифрикционных композитов. К тканям, которые выступают в качестве наполнителя антифрикционных композиционных материалов, предъявляются следующие требования: низкий коэффициент трения скольжения; высокая износостойкость при истирании; высокая прочность при растяжении; минимальная поверхностная плотность при заданной толщине; высокая термостойкость; возможность пропитывания различными связующими при получении препрегов и т.д. В соответствии с существующими требованиями спроектированы ткани с поверхностной плотностью не более 350 г/м² и не более 700 г/м², произведены расчеты коэффициентов наполнения. В ходе исследования показано, как от выбора структуры и сырьевого состава ткани изменяются ее физико-механические и эксплуатационные свойства. В качестве основы полутораслойных тканей с дополнительным утком предложено использовать нити ПТФЭ, в качестве утка лицевого (антифрикционного) слоя – нити ПТФЭ или СВМПЭ, а в качестве утка изнаночного (адгезионного) слоя – нити Аримид, Арселон, Руслан или ПЭЭК.

The research is devoted to the design and evaluation of the physical and mechanical properties of technical fabrics of one-and-a-half-layer weaves used as fillers of self-lubricating antifriction composites. The following requirements are imposed on

fabrics that act as a filler of antifriction composite materials: low coefficient of sliding friction; high abrasion resistance; high tensile strength; minimum surface density at a given thickness; high temperature resistance; the possibility of impregnation with various binders when preparing prepregs, etc. In accordance with the requirements, fabrics with a surface density of no more than 350 g/m² and no more than 700 g/m² were designed, filling coefficients were calculated. The study shows how the choice of the structure and raw material composition of the fabric changes its physical, mechanical and operational properties. It is proposed to use PTFE threads as the basis of one-and-a-half-layer fabrics with an additional weft, as a weft of the front (antifriction) layer of PTFE or UHMWPE thread, and as a weft of the wrong (adhesive) layer of Arimid, Arcelon, Ruslan or PEEK thread.

Ключевые слова: полутораслойное переплетение, стойкость при истирании, ПТФЭ, Аримид, Арселон.

Keywords: one-and-a-half-layer weave, abrasion resistance, PTFE, Arimid, Arcelon.

Исследование проводилось с целью разработки методов проектирования и испытаний свойств тканей, предназначенных для изготовления самосмазывающихся антифрикционных композиционных материалов, используемых в том числе в узлах авиационной техники.

Для изготовления самосмазывающихся антифрикционных материалов нашли применение полтора- и двухслойные ткани, содержащие комплексные нити на основе политетрафторэтилена (далее ПТФЭ нити), например нити, выпускаемые ранее в СССР/РФ под торговым названием Полифен, или их зарубежные аналоги – Teflon®, TORAY Fluorofibers, Inc. Япония/США [1...3].

Переработка ПТФЭ в волокнистые материалы затрудняется тем, что этот полимер не может быть переведен в расплав без разложения и не растворяется в известных растворителях, поэтому для получения ПТФЭ-волокон разработан способ, отличающийся от других способов получения синтетических волокон [3].

Волокна на основе ПТФЭ имеют плотность около 2,2 г/см³, при этом комплексные нити из ПТФЭ имеют невысокую прочность 100-150 мН/текс и рабочий диапазон температур от -160 до +275°С.

Уникальные свойства волокон и нитей, полученных из ПТФЭ, определяются спецификой атомов фтора, строением и структурой высокомолекулярного высококристал-

лического полимера. Благодаря спиралевидной форме молекул ПТФЭ образуется своеобразный идеальный цилиндр с плотной внешней оболочкой из атомов фтора, именно таким строением молекул объясняется уникальная химическая стойкость, низкий коэффициент трения и высокая пластичность при низких температурах [4].

Существуют и другие фторсодержащие волокна и текстильные нити, например, отечественные нити Фторлон с плотностью 2,13 г/см³, которые имеют более низкую температуру эксплуатации (120-130°С), чем нити Полифен (и аналоги), но превосходят Полифен по прочности. Существуют также мононити Фторин®, изготовленные из фторопласта-4МБ и выпускаемые ООО «НПК «Композит». Данные мононити устойчивы к действию агрессивных сред при повышенных температурах, к действию 93-100% серной кислоты, температурный диапазон эксплуатации Фторина от -180 до +200°С.

Для всех фторсодержащих нитей свойственна высокая гидрофобность, которая при их переработке в ткачестве приводит к высокой электризуемости, что следует учитывать при разработке технологических параметров подготовки и ткачества (использовать соответствующие текстильно-вспомогательные вещества и нейтрализаторы электростатического заряда).

Несмотря на целый спектр уникальных свойств фторсодержащих нитей следует учитывать, что сырьевая база для их производства ограничена, а стоимость их значительно выше стоимости других синтетических нитей. Поэтому фторсодержащие нити и ткани на их основе целесообразно применять лишь в тех случаях, когда другие синтетические материалы не могут выдержать условий эксплуатации.

Известно [2], что в ВИАМе разработаны антифрикционные органопластики Оргалон АФ-1М-260 и Оргалон АФ-1М-500, которые широко используются для изготовления тяжело нагруженных узлов трения авиационной техники. Использование антифрикционных органопластиков Оргалон позволяет увеличить нагрузочную способность и ресурс работы узлов трения, сократить количество подвижных соединений, уменьшить трудоемкость изготовления и массу агрегатов, резко сократить затраты на техническое обслуживание.

В качестве наполнителей органопластиков типа Оргалон используются ткани, выпускаемые ООО «ТЕКС-ЦЕНТР». Данные ткани изготавливаются полутораслойным переплетением с дополнительным утком. Причем верхний (лицевой) слой ткани выступает в качестве рабочего и отвечает за

антифрикционные свойства, а нижний (изнаночный) слой выступает в качестве адгезионного/технологического слоя.

В основе проектируемых тканей предложено использовать ПТФЭ нити, в изнаночном слое утка – полиимидные нити (Аримид), параарамидные нити (Руслан), полиэфирэфиркетонные нити (ПЭЭК), полиоксидазольные нити (Арселон) или другие термостойкие нити, а в лицевом (антифрикционном) слое утка – ПТФЭ нити или другие фторсодержащие нити [5].

Использование перечисленных выше волокнистых материалов, в частности на основе ПТФЭ и ПЭЭК, при создании антифрикционных композитов нашло подтверждение в работах [6...8].

Далее спроектируем структуру и исследуем параметры строения и физико-механические свойства тканей для антифрикционных материалов с учетом смятия нитей.

Ткани предлагается изготавливать полутораслойным переплетением с дополнительным утком, в качестве базовых переплетений могут быть использованы неправильный четырех- или шестиремизный сатин, сатин 8/3, усиленный сатин 8/3, полотняное переплетение и сочетание данных переплетений.

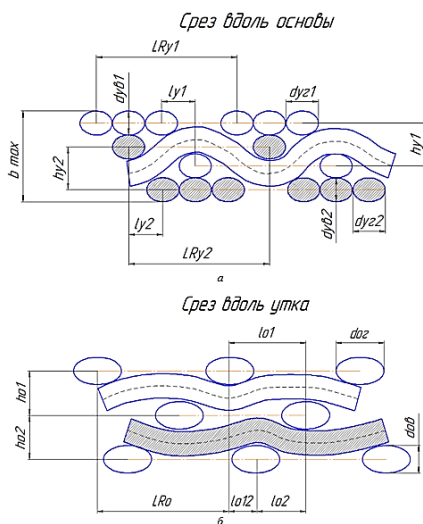


Рис. 1

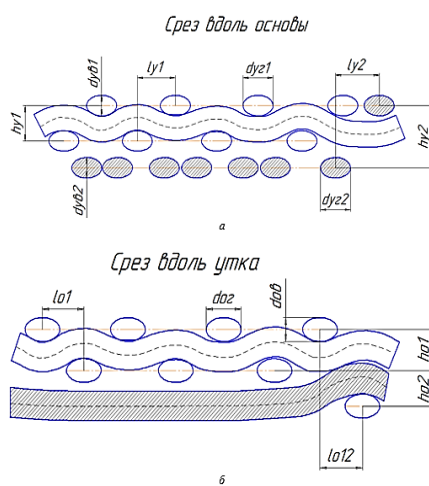


Рис. 2

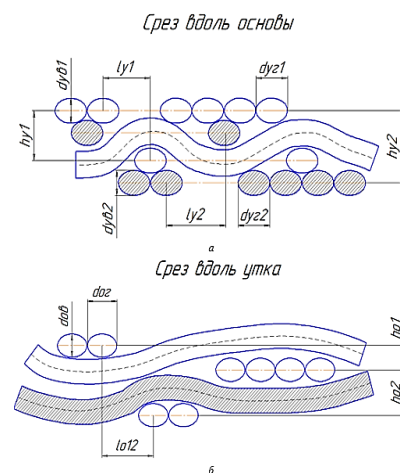


Рис. 3

На рис. 1 представлена геометрическая модель строения вдоль основы и утка полутораслойной ткани с дополнительным утком на базе неправильного четырехремиз-

ного сатина. На рис. 2 представлена геометрическая модель строения полутораслойной ткани с дополнительным утком на базе полотняного переплетения (лицо) и сатина

8/3 (изнанка), а на рис. 3 – модель строения полутораслойной ткани на базе усиленного сатина 8/3.

Дадим пояснение принятым на рисунках и в формулах обозначениям: L_{Ry1} – длина раппорта ткани по утку верхнего слоя; L_{Ry2} – длина раппорта ткани по утку нижнего слоя; L_{Ro} – длина раппорта ткани по основе; l_{y1} – геометрическая плотность ткани по утку верхнего слоя; l_{y2} – геометрическая плотность ткани по утку нижнего слоя; $d_{ог}$ – диаметр основы по горизонтали; $d_{ов}$ – диаметр основы по вертикали; $d_{уг1}$ – диаметр утка по горизонтали верхнего слоя; $d_{уг2}$ – диаметр утка по горизонтали нижнего слоя; d_{yb1} – диаметр утка по вертикали верхнего слоя; d_{yb2} – диаметр утка по вертикали нижнего слоя; b_{max} – максимальная толщина ткани; h_{y1} – высота волны изгиба верхнего утка; h_{y2} – высота волны изгиба нижнего утка; h_{o1} – высота волны изгиба основы в пределах верхнего

слоя; h_{o2} – высота волны изгиба основы в пределах нижнего слоя; l_{o1} – геометрическая плотность ткани по основе в местах пересечения нитей основы нитями утка верхнего слоя; l_{o2} – геометрическая плотность ткани по основе в местах пересечения нитей основы нитями утка нижнего слоя; l_{o12} – геометрическая плотность ткани по основе в местах одновременного взаимного пересечения нитей основы и нитей утка обоих слоев.

В соответствии с требованиями необходимо было спроектировать ткань с поверхностной плотностью не более 350 г/м² и ткань с поверхностной плотностью не более 700 г/м². С учетом моделей, представленных выше, спроектированы и изготовлены образцы и опытные партии полутораслойных тканей.

В табл. 1 представлены значения показателей физико-механических свойств полутораслойной ткани с поверхностной плотностью не более 350 г/м².

Таблица 1

Наименование показателя свойств	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	
Поверхностная плотность, г/м ²	294,5	297,2	321,8	249,5	291,8	290,9	
Толщина ткани, мкм, при 19 кПа	416	424	486	458	426	454	
Число нитей на 10 см	по основе	308	-/-	-/-	-/-	317	317
	по утку	357	355	366	357	372	345
Разрывная нагрузка полоски ткани (50*200) мм, Н	по основе	809	-/-	-/-	-/-	822	881
	по утку	1418	1393	1219	6505	1587	1542
Удлинение при разрыве полоски ткани (50*200) мм, %	по основе	28,2	-/-	-/-	-/-	23,7	28,8
	по утку	13,5	8,2	12,8	3,7	13,5	14,2
Стойкость ткани при истирании, циклы	лицо	1049	2509	946	2064	1277	1624
	изнанка	1385	2696	1599	2001	3225	7579

В табл. 1 приняты следующие обозначения образцов полутораслойной ткани с дополнительным утком (в основе всех тканей нить ПТФЭ 44,4 текс):

1 – ткань на базе четырехремизного сатина: уток лицевого слоя – нить ПТФЭ 44,4 текс, уток изнаночного слоя – нить Аримид 29,4 текс;

2 – ткань на базе четырехремизного са-

тина: лицо – нить Фторлон 16,6х3 текс, изнанка – Аримид 29,4 текс;

3 – ткань на базе четырехремизного сатина: лицо – монопить Фторин 0,09х4 мм, изнанка – Аримид 29,4 текс;

4 – ткань на базе четырехремизного сатина: лицо – нить СВМПЭ 22 текс, изнанка – нить Руслан 29,4 текс;

5 – ткань на базе усиленного сатина 8/3: лицо – нить ПТФЭ 44,4 текс, изнанка – нить Аримид 29,4 текс;

6 – ткань на базе полотняного переплетения и сатина 8/36: лицо – нить ПТФЭ 44,4 текс, изнанка – нить Аримид 29,4 текс.

При анализе данных табл. 1 установлено, что наибольшей стойкостью к истиранию по лицевой и изнаночной стороне отличаются образцы 2, 4 и 6, что является определяющим свойством с точки зрения увеличения срока службы антифрикционных материалов.

Максимальную разрывную нагрузку удастся обеспечить при использовании в составе ткани арамидных нитей типа Руслан и нитей сверхвысокомодульного полиэтилена (СВМПЭ), однако недостаток СВМПЭ заключается в низкой температуре

эксплуатации (90-120°C) [9, 10], что сужает область использования данного материала.

Таким образом, установлено, что путем изменения сырьевого состава в лицевом и/или изнаночном слое, а также вида переплетения удастся управлять прочностью при растяжении и стойкостью при истирании ткани для антифрикционных материалов.

Для изготовленных образцов полутораслойных тканей произведены расчеты параметров строения и коэффициентов наполнения волокнистым материалом [11, 12]. Для расчета фактических значений коэффициентов наполнения необходимо воспользоваться срезами ткани вдоль основы (рис. 4), утка верхнего слоя (рис. 5) и утка нижнего слоя (рис. 6). В качестве примера представлена ткань на базе полотняного переплетения и сатина 8/3.

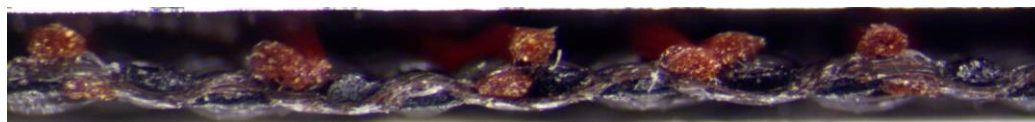


Рис. 4

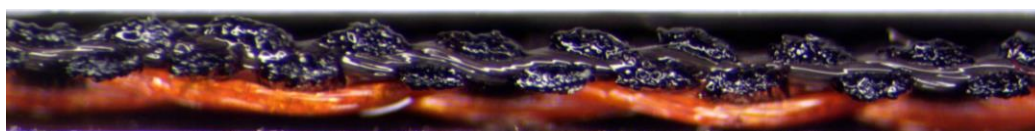


Рис. 5

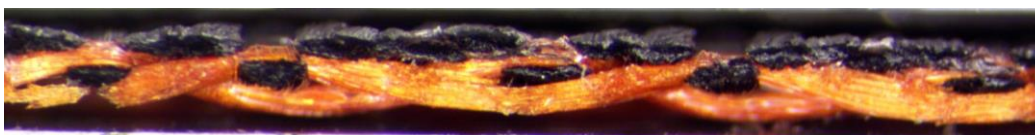


Рис. 6

Коэффициент наполнения по основе полутораслойной ткани с дополнительным

утком определяется по формуле:

$$K_{Ho} = \frac{P_o \cdot [l_{o1}t_{y1} + l_{o2}t_{y2} + l_{o12}t_{y12} + d_{or}(R_o - t_{y1} - t_{y2} - t_{y12})]}{1,5 \cdot 100 \cdot R_o} \quad (1)$$

Коэффициент наполнения по утку для верхнего слоя полутораслойной ткани:

$$K_{Hy1} = \frac{P_{y1} \cdot [l_{y1}t_{o1} + d_{y1}(R_{y1} - t_{o1})]}{100 \cdot R_{y1}} \quad (2)$$

Коэффициент наполнения по утку для нижнего слоя полутораслойной ткани:

$$K_{Hy2} = \frac{P_{y2} \cdot [l_{y2}t_{o2} + d_{y2}(R_{y2} - t_{o2})]}{100 \cdot R_{y2}} \quad (3)$$

Геометрическая плотность ткани по основе в местах пересечения нитей основы нитями утка верхнего слоя:

$$l_{o1} = \sqrt{(d_{ог} + d_{yb1})^2 - h_{o1}^2}. \quad (4)$$

Геометрическая плотность ткани по основе в местах пересечения нитей основы нитями утка нижнего слоя:

$$l_{o2} = \sqrt{(d_{ог} + d_{yb2})^2 - h_{o2}^2}. \quad (5)$$

Геометрическая плотность ткани по основе в местах одновременного взаимного пересечения нитей основы и нитей утка обоих слоев:

$$l_{o12} = \sqrt{(d_{ог} + d_{yb1} + d_{yb2})^2 - (h_{o1} + h_{o2})^2}. \quad (6)$$

Геометрическая плотность ткани по утку верхнего слоя:

$$l_{y1} = \sqrt{(d_{ов} + d_{yg1})^2 - h_{y1}^2}. \quad (7)$$

Геометрическая плотность ткани по утку нижнего слоя:

$$l_{y2} = \sqrt{(d_{ов} + d_{yg2})^2 - h_{y2}^2}. \quad (8)$$

В табл. 2 представлены значения коэффициентов наполнения полутораслойной ткани с поверхностной плотностью не более 350 г/м².

Таблица 2

Номер образца	Коэффициент наполнения		
	по основе	по утку в верхнем слое	по утку в нижнем слое
1	1,48	0,80	0,85
2	1,50	0,85	0,86
3	1,43	0,89	0,83
4	1,52	0,90	0,83
5	1,11	0,79	0,83
6	1,57	1,12	1,09

В табл. 3 представлены значения параметров строения полутораслойной ткани с поверхностной плотностью не более 350 г/м², необходимые для расчетов коэффициентов наполнения.

Таблица 3

Наименование параметра строения	Номер образца ткани					
	1	2	3	4	5	6
Геометрическая плотность, мм:						
l_o	0,321	0,318	0,330	0,346	0,329	0,325
l_{y1}	0,534	0,546	0,545	0,577	0,528	0,592
l_{y2}	0,548	0,568	0,522	0,576	0,515	0,544
Высота волны изгиба нити, мм:						
h_o	0,341	0,362	0,430	0,359	0,235	0,213
h_{y1}	0,103	0,074	0,147	0,097	0,215	0,077
h_{y2}	0,056	0,091	0,115	0,088	0,156	0,262
Диаметр основы в ткани с учетом смятия, мм:						
$d_{ог}$	0,464	0,454	0,437	0,478	0,328	0,421
$d_{ов}$	0,102	0,105	0,109	0,128	0,113	0,120
Диаметр утка в ткани с учетом смятия, мм:						
$d_{y1г}$	0,325	0,383	0,422	0,466	0,308	0,304
$d_{y1в}$	0,091	0,134	0,105	0,139	0,137	0,123
$d_{y2г}$	0,389	0,405	0,346	0,376	0,341	0,344
$d_{y2в}$	0,139	0,124	0,141	0,140	0,122	0,148
Уработка нитей в ткани, %:						
a_o	6,9	10,3	9,0	6,9	3,5	6,5
a_{y1}	1,4	0,6	3,0	1,5	1,9	3,1
a_{y2}	0,6	2,7	1,2	0,3	0,9	2,3

Установлено, что образец ткани № 6 отличается максимальными значениями коэффициентов наполнения по основе и по

утку в слоях. При этом данный образец имеет наибольшую стойкость при истирании в одном из слоев среди всех вариантов

ткани. Этот результат достигается за счет использования в одном слое полотняного переплетения с минимальной длиной перекрытий, а в другом слое сатинового переплетения с длинными уточными перекрытиями.

Далее обратим внимание на особенности разрушения полутораслойных тканей с дополнительным утком в процессе истирания. На рис. 7 представлены фотографии полутораслойной ткани до и после испытаний по ГОСТ 18976. Из представленных снимков видно, что при истирании первыми разрушаются короткие основные перекрытия, формирующие опорную поверхность ткани, что обусловлено максимальным изгибом основы в тканях полутораслойного переплетения с дополнительным утком. При этом уточные нити верхнего и нижнего слоя остаются неразрушенными.

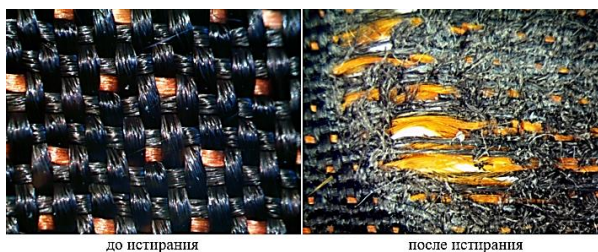


Рис. 7

Полученные результаты наглядно подтверждают вывод о том, что для повышения стойкости при истирании ткани необходимо вывести на ее опорную поверхность как можно больше перекрытий той системы, которая обладает наибольшей степенью изгиба.

ВЫВОДЫ

Спроектированы по поверхностной плотности и коэффициенту наполнения полутораслойные ткани с дополнительным утком на базе неправильного сатина, усиленного сатина и комбинации полотняного (лицо) и сатинового (изнанка) переплетений.

В основе проектируемых тканей предложено использовать ПТФЭ нити линейной плотности 44,4 текс, в изнаночном (адгезионном/технологическом) слое утка – нити Аримид 29,4 текс, нити Руслан 29,4 текс,

нити ПЭЭК 30 текс, нити Арселон 29,4 текс или другие нити, отвечающие требованиям термостойкости и прочности, а в лицевом (антифрикционном/рабочем) слое утка – нити ПТФЭ, нити Фторлон или Фторин.

Установлено, что для увеличения стойкости полутораслойной ткани к истиранию необходимо ее рабочую (лицевую) сторону сформировать полотняным переплетением с максимальным количеством коротких основных перекрытий, а изнаночную сторону сформировать сатиновым переплетением с длинными уточными перекрытиями.

При расчете коэффициентов наполнения ткани установлено, что максимальных значений наполнения по основе и утку в верхнем и нижнем слое удастся добиться при использовании комбинации полотняного (лицо) и сатинового (изнанка) переплетений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железина Г.Ф. Совершенствование конструкционных и функциональных органопластиков для изделий авиационной техники // Авиационные материалы: Избр. тр., 1932-2007. М.: ВИАМ, 2007. С. 232...239.
2. Кулагина Г.С., Кан А.Ч., Железина Г.Ф., Левакова Н.М. Антифрикционные материалы на основе полимерных волокон // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). С. 05. – <http://www.viam-works.ru>. – DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59.
3. Демидов А.В., Витковская Р.Ф., Терещенко Л.Я. Текстиль в технике и защите окружающей среды / под ред. проф. К.Е. Перепелкина. СПб.: СПГУТД, 2009. 338 с.
4. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2012. 624 с.
5. Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Левакова Н.М., Сафонов П.Е. Полимерные волокна в составе тканых наполнителей для самосмазывающихся антифрикционных материалов // Труды ВИАМ. 2023. № 11 (129). Ст. 03. – <http://www.viam-works.ru>. – DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-26-36.
6. Пат. 2463321 РФ. Антифрикционный композитный материал для изготовления элементов уплотненной судовой арматуры.
7. Пат. 2486216 РФ. Ткань с покрытием и способ изготовления листового материала.
8. Пат. 2347791 РФ. Волокнистый препрег для изготовления износостойкого полимерного композиционного материала (варианты).
9. Кудинов В.В., Корнеева Н.В., Колмаков А.Г., Геров М.В., Крылов И.К., Мамонов В.И. Композици-

онные материалы на основе высокопрочных высокомодульных СВМПЭ-волокон // Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты: тез. докл. XII Междунар. науч.-практ. конф. М.: НИИ-Стали, 2012. С. 53...54.

10. *Корнеева Н.В.* Разработка волокнистых полимерных композиционных материалов, армированных СВМПЭ-волокнами, тканями и неткаными материалами, обработанными неравновесной низкотемпературной плазмой: дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2011. 296 с.

11. *Мартынова А.А., Слостина Г.Л., Власова Н.А.* Строение и проектирование тканей. М.: МГТА, 1999. 434 с.

12. *Юсупова Н.Б., Хамраева С.А., Ешжанов А.А., Езиева М.М., Доскараева Ж.Е., Мухамедин В.М.* Создание двухслойной ткани костюма с определенной поверхностной плотностью // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 104...107. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_104.

REFERENCES

1. *Zhelezina G.F.* Improvement of structural and functional organoplastics for aircraft products // Aviation materials. Selected works of "VIAM" 1932-2007: М.: VIAM, 2007. Pp. 232...239.

2. *Kulagina G.S., Kan A.Ch., Zhelezina G.F., Levakova N.M.* Antifriction materials based on polymer fibers. Trudy VIAM, 2022, 11 (117), P. 05. – <http://www.viam-works.ru>. – DOI: 10.18577/23 07-6046-2022-0-11-48-59.

3. *Demidov A.V., Vitkovskaya R.F., Tereshchenko L.Ya.* Textiles in technology and environmental protection: monograph / edited by Prof. K.E. Perepelkin. St. Petersburg: SPGUTD, 2009. 338 p.

4. *Mikhailin Yu.A.* Heat-resistant polymers and polymer materials. St. Petersburg: Profession, 2012. 624 p.

5. *Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Levakova N.M., Safonov P.E.* Polymer fibers in the composition of fabrics for self-lubricating antifriction materials. Trudy VIAM, 2023, no. 11 (129), paper no. 03. – <http://www.viam-works.ru>. – DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-26-36.

6. Pat. 2463321 RF. Antifriction composite material for the manufacture of elements of sealed ship fittings.

7. Pat. 2486216 RF. Coated fabric and a method for making sheet material.

8. Patent 2347791 RF. Fibrous prepreg for the manufacture of wear-resistant polymer composite material (variants).

9. *Kudinov V.V., Korneeva N.V., Kolmakov A.G., Gerov M.V., Krylov I.K., Mamonov V.I.* Composite materials based on high-strength high-modulus UHMWPE fibers // The latest trends in the field of design and application of ballistic materials and protective equipment: abstracts of the XII international scientific and practical conference. М.: NIISTali, 2012. Pp. 53...54.

10. *Korneeva N.V.* Development of fibrous polymer composite materials reinforced with UHMWPE fibers, fabrics and nonwovens treated with nonequilibrium low-temperature plasma: dissertation of the Doctor of Technical Sciences. Kazan, 2011. 296 p.

11. *Martynova A.A., Slostina G.L., Vlasova N.A.* Structure and design of fabrics. М.: MGTA, 1999. 434 p.

12. *Yusupova N.B., Xamraeva S.A., Yeshzhanov A.A., Yeziyeva M.M., Doskaraeva J.E., Mukhamedin V.M.* Creating of a double-layer fabric suit with a certain surface density // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 1 (403). С. 104...107. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_104.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 18.12.23.

УДК 677.042.21

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_109

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ПОСЛЕ БИООТВАРКИ***

**EFFECT OF SURFACTANTS ON CELLULOSE FIBER TEXTILE MATERIALS
QUALITY PARAMETERS AFTER BIOSCOURING**

К.А. ЛЕНЬКО¹, Н.Н. ЯСИНСКАЯ¹, А.С. РАФИКОВ²

K.A. LENKO¹, N.N. YASINSKAYA¹, A.S. RAFIKOV²

(¹Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(¹Vitebsk State Technological University, Belarus)

(²Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan)

E-mail: kotya240497@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru

В статье установлены зависимости свойств хлопчатобумажной ткани от природы и концентрации поверхностно-активных веществ в совмещенной технологии раслихтовки и отварки целлюлозосодержащих текстильных материалов с использованием композиции новых ферментных препаратов белорусского производства на основе целлюлазы, пектиназы и амилазы (ООО «Фермент»). Влияние действия поверхностно-активных веществ на активность композиции ферментных препаратов и качество подготовки оценивали по капиллярности, потере массы хлопчатобумажной ткани после обработки, разрывной нагрузке и разрывному удлинению, а также по степени удаления крахмальной илихты йодокрахмальным методом. В результате экспериментальных исследований влияния поверхностно-активных веществ различной природы и концентрации на качественные показатели текстильных материалов из целлюлозных волокон после биоотварки с композицией ферментных препаратов на основе целлюлазы, пектиназы и амилазы установлено, что природа смачивателей не оказывает значительного влияния на потерю прочности текстильного материала, а с увеличением концентрации реагента происходит повышение потери массы. Обработка анионоактивным поверхностно-активным веществом придает материалу наибольшую сорбционную способность. Установлено, что при концен-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения задания проекта № T22УЗБ-062.

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

трации анионоактивного поверхностно-активного вещества 1 г/л достигаются наилучшие показатели качества подготовки текстильного материала к крашению.

The paper establishes the dependence of cotton fabric properties on the nature and concentration of surfactants in the combined technology of desizing and scouring of cellulose-containing textile materials using a composition of new enzyme preparations of Belarusian production on the basis of cellulase, pectinase and amylase (LLC "Ferment"). The effect of surfactants on the activity of the composition of enzyme preparations and the quality of preparation was evaluated by capillarity, weight loss of cotton fabric after treatment, breaking load and breaking elongation, as well as by the degree of removal of starch slurry by iodo-starch method. As a result of experimental studies of the influence of surfactants of different nature and concentration on qualitative parameters of textile materials from cellulose wo-fibers after bioscouring with the composition of enzyme preparations on the basis of cellulase, pectinase and amylase it was found that the nature of wetting agents does not have a significant effect on the loss of textile material strength, and with increasing concentration of the reagent there is an increase in weight loss. Treatment with anionic surfactant gives the material the highest sorption capacity. It is established that at the concentration of anionactive surfactant 1 g/l the best quality indicators of textile material preparation for dyeing are achieved.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, смачивание, расшлихтовка, биоотварка, фермент, капиллярность, разрывная нагрузка, хлопчатобумажные ткани.

Keywords: surfactants, wetting, desizing, bioscouring, enzyme, capillarity, breaking load, cotton fabrics.

Введение

Известно, что эффективность жидкостных процессов отделки текстильных материалов зависит от первой ее стадии – смачивания, которое сопровождается водопоглощением и определяется скоростью транспорта жидкости в материале. Без равномерного и достаточно быстрого смачивания текстильного материала невозможно качественно провести жидкостные операции отделочного производства [1]. Для придания смачиваемости необходимо удалить гидрофобные загрязнения различной природы, что достигается в результате отварки. Большая часть загрязнений переводится в варочную жидкость путем их растворения в щелочных растворах при высокой температуре. Особенно трудноудаляемыми загрязнениями, обуславливающими плохую смачиваемость и капиллярность

текстильных материалов, являются воскообразные вещества. Они нерастворимы в воде, переводятся в варочную жидкость за счет эмульгирования или диспергирования с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1].

В процессе отваривания воски плавятся, растекаются на поверхности волокна, ПАВ переводят их в каплеобразное состояние, образуя на границе раздела «жировое загрязнение – варочная жидкость» сольватную оболочку, которая сольбилизирует частицу загрязнения и переводит ее в варочную жидкость в виде эмульсии. При этом снижается поверхностное натяжение на границе раздела «загрязнение – ткань».

Известно, что природа ПАВ оказывает влияние на качество отваренных тканей [2, 3]. Капиллярность ткани, отваренной с неионогенными ПАВ, выше, чем с ионогенными. Такое влияние объясняется тем, что

неионогенные ПАВ лучше удаляют воскоподобные гидрофобные вещества, а ионогенные – полярные непредельные соединения. Кроме того, неионогенные ПАВ часто остаются на волокнах, так как они при адсорбции частично диффундируют внутрь волокон и трудно смываются. В результате ориентированной адсорбции эти ПАВ гидрофилизуют поверхность, но могут выделяться из изделий на последующих стадиях обработки или при эксплуатации, чем провоцируют глобализацию загрязнения окружающей среды. В связи с высокой стоимостью и трудностью очистки сточных вод требуется использование рациональных концентраций ПАВ для достижения высокой эффективности процесса отварки [2].

В последние десятилетия в технологиях подготовки целлюлозосодержащих тканей к крашению широкое распространение получает замена щелочной отварки на биоотварку с ферментными препаратами, использование которых позволяет выигрывать конкуренцию с традиционными химическими и физико-химическими способами облагораживания суровых текстильных материалов [2...6]. Одним из факторов, который оказывает влияние на эффективное использование ферментов при отварке хлопчатобумажных и льняных тканей, является природа ПАВ [2].

Целью работы является установление зависимости свойств хлопчатобумажной ткани от природы и концентрации поверхностно-активных веществ в совмещенной технологии расшлихтовки и отварки с использованием новой композиции ферментных препаратов белорусского производства ООО «Фермент» на основе целлюлазы, пектиназы и амилазы; рекомендации рациональной концентрации и природы поверхностно-активного вещества с целью достижения наилучших показателей качества подготовки текстильного материала к крашению.

Объекты и методы исследования

Проведена биоотварка, совмещенная с расшлихтовкой хлопчатобумажной суровой ткани полотняного переплетения арт. 854 (ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение») по

верхностной плотностью 139 г/м², по схеме, представленной на рис. 1.

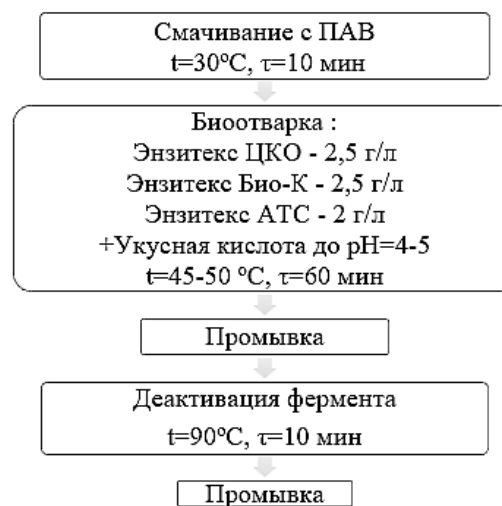


Рис. 1

В большинстве случаев на отделочных производствах ПАВы добавляют непосредственно в рабочий варочный раствор. В данном исследовании принято решение провести предпромывку с использованием смачивателей для достижения наилучших показателей капиллярности.

Согласно исследованиям, представленным в источнике [2], предварительная тепловая жидкостная обработка ткани с ПАВ позволяет повысить капиллярность ткани. Согласно рекомендациям [2, 7] для обработки выбраны анионактивный ПАВ RG-NR520 (поставщик ООО «Фермент») и неионогенный ПАВ LAVOTAN DSU 100 (СНТ R. Beitlich GmbH) в диапазоне концентраций 0,1...3 г/л [8...10]. Данные ПАВы используются в технологиях традиционной подготовки льняных и хлопчатобумажных тканей на текстильных предприятиях Республики Беларусь.

Характеристики используемых смачивающих и ферментных препаратов представлены в табл. 1.

Влияние действия ПАВ на активность композиции ферментных препаратов на основе целлюлазы, пектиназы и амилазы и качество подготовки оценивали по капиллярности (ГОСТ 29104.11-91 «Ткани технические. Метод определения капиллярности»),

потере массы хлопчатобумажной ткани после обработки (ИСО 12947-3:98 «Текстиль. Определение прочности на истирание тканей методом Мартиндейла. Часть 3. Определение потери массы»), разрывной нагрузке и разрывному удлинению (ГОСТ 29104.4-91 «Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлине-

ния при разрыве»). Учитывая, что в варочной ферментной композиции присутствует препарат амилолитического действия, катализирующий расщепление крахмала и применяющийся для расшлихтовки целлюлозосодержащих тканей, оценивали остаточное содержание шликты на ткани йодо-крахмальным методом [9].

Таблица 1

Препарат	Характеристика
Энзитекс ЦКО (ООО «Фермент»)	Кислая целлюлаза, активность 10000 ед/г, оптимальные условия действия: рН от 4,5 до 5,5, рабочая температура 40-60 °С
Энзитекс АТС (ООО «Фермент»)	Бактериальная α -амилаза, активность 10000 ед/г, оптимальные условия действия: рН от 5,5 до 6,5, рабочая температура 40-90 °С
Энзитекс Био-К (ООО «Фермент»)	Кислая пектиназа, активность 6500 ед/г. Оптимальные условия действия: рН от 3,0 до 4,5, рабочая температура 40-60 °С
RG-NR520 (поставщик ООО «Фермент»)	Натриевая соль фосфорного эфира этоксилированного спирта, анионная природа, хорошо растворяется в воде до концентраций 15 г/л
LAVOTAN DSU 100 (СНТ R. Beitlich GmbH)	Комбинация специальных поверхностно-активных веществ, неионогенная природа, препарат устойчив к кислотам, щелочам и солям металлов в обычных концентрациях, не оказывает отрицательного воздействия на активность бактериальных препаратов и панкреатических амилаз

Результаты и обсуждения

Результаты исследований представлены на рис. 2...5. За контрольный образец принимается суровая хлопчатобумажная ткань.

По данным рис. 2 (оценка разрывной нагрузки и разрывного удлинения хлопчатобумажной ткани после биоотварки) можно прийти к выводу, что природа смачивателей не оказывает значительного влияния на потерю прочности текстильного материала. К резкому снижению разрывной нагрузки приводит увеличение концентрации анионного ПАВ более 1 г/л, неионогенного – более 2 г/л.

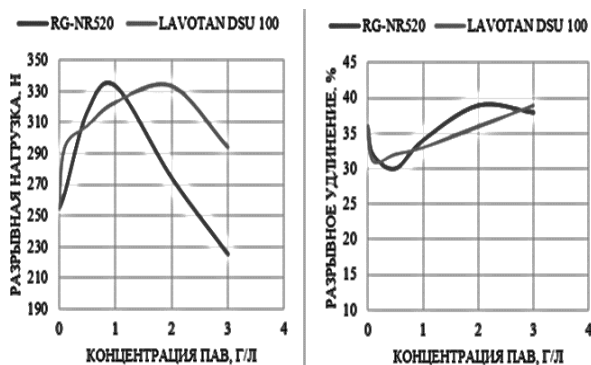


Рис. 2

В процессе ферментативной отварки тканей используемые ПАВ снижают поверх-

ностное натяжение материала, что позволяет ферментам проникнуть через микропоры и трещины и сориентироваться в благоприятных позициях для выполнения каталитических функций [11].

Таким образом, увеличение концентрации ПАВ приводит к увеличению активности всех видов ферментов в композиции, которые катализируют процесс удаления примесей, загрязнений и крахмальной шликты, а также способности целлюлазами разрушать первичную стенку целлюлозных волокон, что и приводит к снижению разрывной нагрузки материала [12].

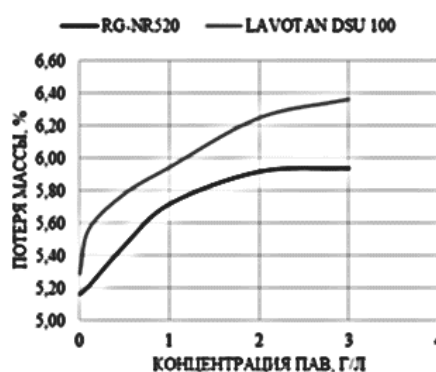


Рис. 3

Потеря массы образцов (рис. 3) после обработки неионогенным ПАВ незначи-

тельно выше, чем после обработки анион-активным. С увеличением концентрации реагента происходит повышение потери массы материалов. Вероятно, это связано с извлечением примесей нецеллюлозного происхождения, сопутствующих целлюлозе после отварки (воскообразные, пектиновые, зольные и др.) [13].

Считается, что хорошо подготовленными к крашению являются хлопчатобумажные ткани, капиллярность которых не

ниже 120 мм за 60 мин. Капиллярность всех исследуемых образцов достигает требуемого значения (рис. 4), однако смачивание анионоактивным ПАВ придает материалам наибольшую сорбционную способность. С увеличением концентрации смачивателей более 1 г/л не происходит увеличения капиллярности образцов, значения находятся приблизительно в одном диапазоне. Следовательно, увеличение концентрации более 1 г/л нецелесообразно.

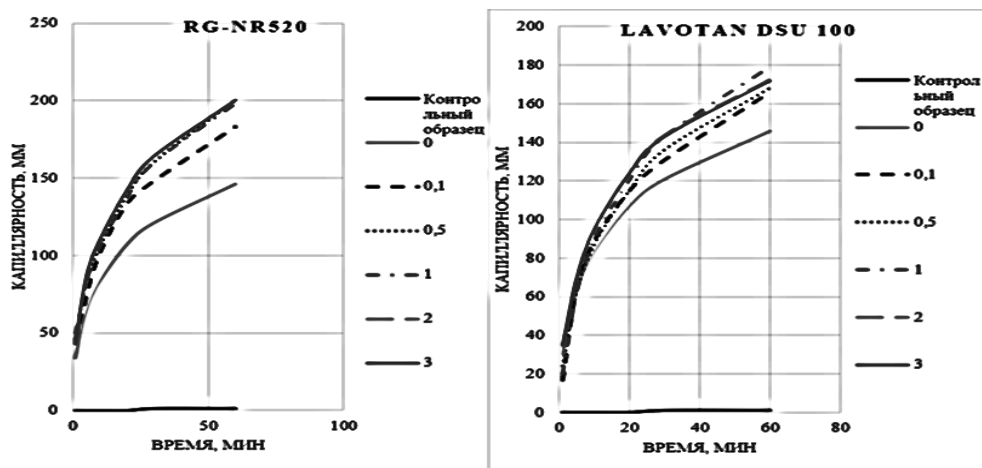


Рис. 4

Согласно результатам оценки остаточного содержания крахмала на ткани, биотварка позволяет удалить значительную часть крахмальной шликты при концентрации ПАВ 0,1 г/л (рис. 5 – оценка качества проведения расшлихтовки хлопчатобумажной ткани йодокрахмальным

методом: а) суровая ткань; б) без ПАВ; в) RG-NR520 – 0,1 г/л; г) RG-NR520 – 0,5 г/л; д) RG-NR520 – 1 г/л; е) RG-NR520 – 2 г/л; ж) RG-NR520 – 3 г/л; з) LAVOTAN – 0,1 г/л; и) LAVOTAN – 0,5 г/л; к) LAVOTAN – 1 г/л; л) LAVOTAN – 2 г/л; м) LAVOTAN – 3 г/л).

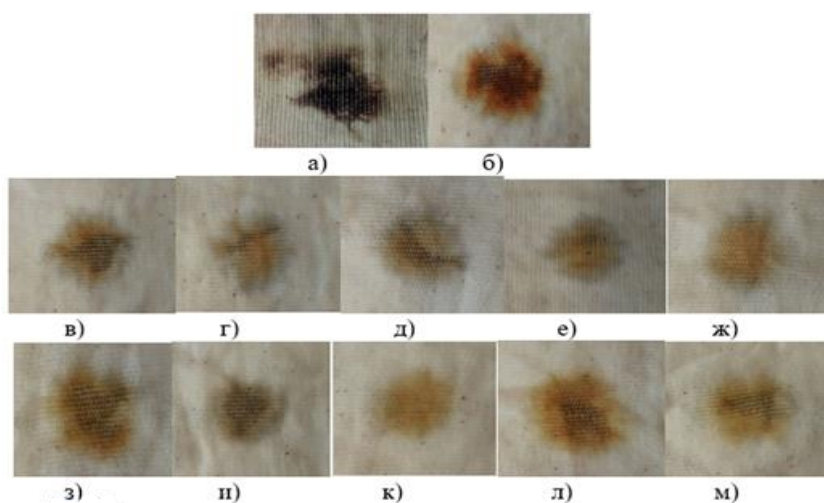


Рис. 5

Для анионоактивного смачивателя наилучший результат расшлихтовки достигается при концентрации 3 г/л, для неионогенного – 1 г/л.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований влияния природы и концентрации поверхностно-активных веществ на качественные показатели совмещенной технологии расшлихтовки и биоотварки хлопчатобумажных тканей с использованием новых ферментных композиций белорусского производителя установлено:

– природа смачивателей не оказывает влияния на потерю прочности ткани;

– к резкому снижению разрывной нагрузки приводит увеличение концентрации анионоактивного ПАВ более 1 г/л, неионогенного – более 2 г/л;

– потеря массы образцов после обработки неионогенным ПАВ незначительно выше, чем после обработки анионоактивным; с увеличением концентрации реагента происходит повышение потери массы материалов;

– смачивание анионоактивным ПАВ придает материалам наибольшую сорбционную способность; с увеличением концентрации смачивателей более 1 г/л не происходит увеличения капиллярности образцов;

– для анионоактивного смачивателя наилучший результат расшлихтовки достигается при наибольшей концентрации – 3 г/л; для неионогенного ПАВ концентрация в 1 г/л позволяет достичь желаемого результата подготовки текстильного материала.

Таким образом, для использования в совмещенной технологии расшлихтовки и биоотварки хлопчатобумажных тканей новой ферментной композиции (ООО «Фермент») рекомендуется применение анионоактивного смачивателя RG-NR520 концентрацией 1 г/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов: учеб. для вузов. М.: РЗИТЛП, 2001. 298 с.

2. Барышева Н.В. Разработка основ ферментативной технологии отварки хлопчатобумажных тканей: дис... канд. техн. наук: 05.19.02. М.: РГБ, 2006. 179 с.

3. Хасанова С.Х., Файзуллаева З.М. Исследование процесса подготовки смесовой шелко-нитроновой ткани // Материалы Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. Т 2. С. 77...79.

4. Алеева С.В. Ферментативная умягчающая обработка льняных изделий: воздействие целлюлаз в структуре набухшего волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5. С. 126...134. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126

5. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. Биохимические методы развития удельной поверхности льняных материалов для получения сорбентов и демпфирующих композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4. С. 89...95.

6. Ленько К.А., Ясинская Н.Н. Степень суммарной очистки хлопка от сопутствующих примесей после биоотварки // Производственные системы будущего: опыт внедрения Lean и экологических решений: материалы междунар. науч.-практ. конф. Кемерово: КГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 5131...5135.

7. Волков В.А., Агеев А.А. Использование капиллярного метода для характеристики влияния природы ПАВ на капиллярные свойства отваренной ткани // Технические науки: проблемы и перспективы: сб-к ст. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2015. С. 11.

8. Топорищева Н.А., Чешкова А.В., Каменева О.А. Сокращенные биохимические экотехнологии подготовки и крашения котонинсодержащих тканей с сохранением цвета лигнина льна // Дизайн и технологии. 2022. № 90. С. 70...77.

9. Алеева С.В. Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.02. Иваново, 2014. 389 с.

10. Ленько К.А., Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Лисовский Д.Л. Исследование смачивающей способности текстильных материалов после обработки ферментсодержащими композициями // Легкая промышленность: проблемы и перспективы: матер. междунар. науч.-техн. конф. Омск: ОмГТУ, 2021. С. 59...63.

11. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. Подбор целлюлаз для умягчающей обработки льняных изделий пропиткой растворами биопрепаратов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 98...105. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98

12. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашенных котонинсодержащих

щих тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5. С. 62...68.

13. *Ленько К.А., Ясинская Н.Н.* Исследование содержания примесей хлопкового волокна после биохимической подготовки к крашению с использованием полиферментных композиций // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5. С. 118...126. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_118

REFERENCES

1. *Krichevskiy G.E.* Chemical technology of textile materials: textbook for universities. M.: RCITLI, 2001. 298 с.

2. *Barysheva N.V.* Development of bases of enzymatic technology of cotton fabrics boiling: dis. ... candidate of technical sciences: 05.19.02. Moscow: RSL, 2006. 179 с.

3. *Khasanova S.H., Faizullaeva Z.M.* Research of the preparation process of blended silk-nitron fabric // Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 110th anniversary of Professor A.G. Sevostyanov. Moscow: RSU named after A.N. Kosygin, 2020. T 2. С. 77...79.

4. *Aleeva S.V.* Enzymatic softening treatment of linen products: the impact of cellulases in the structure of swollen fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 5. С. 126...134. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126

5. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Biochemical methods of development of specific surface of linen materials for obtaining sorbents and damping composites // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2018. № 4. С. 89...95.

6. *Lenko K.A., Yasinskaya N.N.* Degree of total purification of cotton from related impurities after bio-digestion // Production systems of the future: experience in implementing Lean and environmental solutions: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Kemerovo: KSTU named after T.F. Gorbachev, 2022. С. 5131...5135.

7. *Volkov V.A., Ageev A.A.* Use of capillary method to characterize the influence of surfactant nature on capillary properties of boiled fabric // *Technical Sciences: problems and prospects: collection of articles of the international scientific-practical conference.* Ufa: OMEGA SAINS, 2015. С. 11.

8. *Toporishcheva N.A., Cheshkova A.V., Kameneva O.A.* Reduced biochemical ecotechnologies of preparation and dyeing of cottonin-containing fabrics with preservation of lignin color of flax // *Design and Technology.* 2022. № 90. С. 70...77.

9. *Aleyeva S.V.* Methodological bases of improvement of processes of biochemical modification of linen textile materials: dis. ... doct. of technical sciences: 05.19.02. Ivanovo, 2014. 389 с.

10. *Lenko K.A., Yasinskaya N.N., Skobova N.V., Lisovsky D.L.* Study of wetting ability of textile materials after treatment with enzyme-containing compositions // *Light Industry: Problems and Prospects: proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* Omsk: OmSTU, 2021. С. 59...63.

11. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Selection of cellulases for softening treatment of linen products by impregnation with biopreparation solutions // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 6. С. 98...105. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98

12. *Toporishcheva N.A., Mukhina E.N., Cheshkova A.V.* Biochemical preparation technology for obtaining topical smooth-dyed cottonin-containing fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2020. № 5. С. 62...68.

13. *Lenko K.A., Yasinskaya N.N.* Research of the content of cotton fiber impurities after biochemical preparation for dyeing with the use of polyferment compositions // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 5. С. 118...126. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_118

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

ОХЛАЖДАЮЩАЯ ОТДЕЛКА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КСИЛИТА И ЭРИТРИТА*

COOLING FINISHES FOR TEXTILE MATERIALS USING XYLITOL AND ERYTHRITOL

Г.Н. ХУСНУТДИНОВА, А.А. АЗАНОВА

G.N. KHUSNUTDINOVA, A.A. AZANOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: gulnur.mukh@gmail.com, azanovlar@mail.ru

Испарение пота играет незаменимую роль в теплоотдаче человеческого тела, однако в условиях умеренного или интенсивного потоотделения большинство тканей для повседневной одежды демонстрируют ограниченную способность к испарению и удалению влаги из пододежного пространства. В статье представлены результаты исследования отделки трикотажных полотен ксилитом и эритритом с целью получения охлаждающего эффекта и обеспечения теплового комфорта в условиях увлажнения тела человека при физических нагрузках. Текстильные материалы с подобной отделкой проявляют охлаждающий эффект за счет поглощения тепла при протекании эндотермической реакции при растворении многоатомных сахарных спиртов. Приведены данные по основным показателям сахарных спиртов и углеводов при растворении в воде. На основании экспериментальных данных выполнен сравнительный анализ технологических характеристик ксилита и эритрита по степени снижения температуры трикотажного полотна при увлажнении и влиянию на жесткость при изгибе материала. Выявлено, что пропитка растворами сахарных спиртов позволяет снизить температуру образца при смачивании на 2-5°C в зависимости от концентрации, при этом с ее увеличением в пропиточном растворе до 25% наблюдается повышение жесткости полотна более чем в два раза. Подбран состав отделочной композиции на основе акрилового сополимера. Проведена оценка охлаждающего эффекта модифицированных трикотажных полотен и готового изделия методом термографии. Предлагаемая обработка демонстрирует эффективность охлаждения и позволяет снизить температуру изделия на 2-5°C. Несомненным преимуществом полученных текстильных материалов является их безопасность для человека и окружающей среды.

The evaporation of sweat plays an indispensable role in the heat transfer of the human body. However, in conditions of moderate to heavy sweating, most casual wear fabrics exhibit limited ability to evaporate and remove moisture from the underwear space. The article presents the results of a study of finishing knitted fabrics with xylitol and erythritol in order to obtain a cooling effect and provide thermal

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

comfort in conditions of moisturizing the human body during physical activity. Textiles with this finish exhibit a cooling effect by absorbing heat during the endothermic reaction of dissolving polyhydric sugar alcohols. Data are provided on the main indicators of sugar alcohols and carbohydrates when dissolved in water. Based on experimental data, a comparative analysis of the technological characteristics of xylitol and erythritol was carried out in terms of the degree of decrease in the temperature of the knitted fabric when moistened and the effect on the bending rigidity of the material. It was found that impregnation with solutions of sugar alcohols makes it possible to reduce the sample temperature during wetting by 2-5°C, depending on the concentration. Moreover, with its increase in the impregnating solution to 25%, an increase in the rigidity of the canvas is observed by more than two times. The structure of the finishing composition based on acrylic copolymer was selected. The cooling effect of modified knitted fabrics and the finished product was assessed using thermography method. The proposed treatment demonstrates high cooling efficiency and allows reducing the temperature of the product by 2-5°C. The undoubted advantage of the resulting textile materials is their safety for humans and the environment.

Ключевые слова: охлаждающий текстиль, сахарный спирт, теплота растворения, ксилит, эритрит, трикотажное полотно, акриловая эмульсия, эндотермический агент, термография.

Keywords: cooling textiles, sugar alcohol, heat of solution, xylitol, erythritol, knitted fabric, acrylic emulsion, endothermic agent, thermography.

Введение

Температурные условия оказывают существенное влияние на здоровье человеческого тела, это важно не только для комфорта, но и для предотвращения физиологических и психологических проблем, вызванных высокой температурой [1, 2]. Актуальным направлением развития процессов заключительной отделки текстиля является придание материалам охлаждающего эффекта, обеспечивающего ощущение прохлады и комфорт в жарких влажных условиях и при интенсивных физических нагрузках. Наиболее часто такие материалы применяются в спортивной одежде и защитном снаряжении для людей, работающих в условиях повышенных температур. Однако функциональные варианты становятся популярными и в бытовой одежде. Большие перспективы применения охлаждающего текстиля имеются в медицине при гипертермии человека.

В терморегуляции человеческого тела важную роль играет испарение, которое имеет достаточно узкий диапазон темпера-

тур. Около 20% рассеивания тепла через сухое человеческое тело зависит от потери водяного пара через потоотделение, даже в ненагруженном состоянии [3]. При физических нагрузках и в жаркой влажной среде испарение пота становится основным путем рассеивания тепла человеческого тела [4]. Большинство тканей для повседневной одежды обычно достаточно пропускают водяной пар и обеспечивают комфорт в ненагруженном состоянии. Тем не менее, когда тело человека находится в более интенсивных условиях потоотделения, требуется большая эффективность охлаждения.

В связи с прогнозируемым увеличением объема глобального рынка охлаждающего текстиля [5] актуальным является разработка отечественных технологий функциональной охлаждающей отделки текстильных материалов, что позволит расширить ассортимент и повысить конкурентоспособность продукции российского производства на внутреннем и внешнем рынке.

Технологичным решением для обеспечения ощущения прохлады в жарких и

влажных условиях является применение сахарных спиртов – ксилита и эритрита [6...8], основанное на эндотермической химической реакции с водой, а в случае с одеждой – потом. Одним из важных преимуществ данных веществ является их нетоксичность и безопасность для человека и окружающей среды.

Методы

Опытные образцы получали пропиткой в рабочем растворе при температуре 20-22 °С на протяжении 3-15 минут с последующей сушкой при 110-120 °С и стабилизацией акрилового полимера при температуре 120-130 °С в течение 1-2 минут. Для исследования выбрано полиэфирное трикотажное полотно с поверхностной плотностью 156 г/м².

Измерение охлаждающего эффекта сахарных спиртов проводили с помощью кон-

тактного жидкостного термометра в растворах и методом термографии текстильных материалов с помощью инфракрасного тепловизора A-BF RX 500. Для измерения жесткости текстильных материалов при статическом изгибе применяли прибор МТ-360 компании «Метротекс». Воздухопроницаемость трикотажного полотна определяли на диагностическом приборе А003-РС Air Permeability Tester. Давление, требуемое для процедуры испытаний одежного текстиля, согласно стандарту EN ISO 9237 составило 100 Па. Микрофотографии образцов получали с помощью 3D-сканирующего лазерного микроскопа LEXT OLS 4100 (OLYMPUS).

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены основные технологические свойства сахарных спиртов и углеводов [9].

Таблица 1

Наименование	Растворимость в воде при 25 °С, г/100 мл	Теплота растворения, кал/г	Относительная влажность для начала водопоглощения при 20 °С, %
Сахароза	185	-4,3	84
Эритрит	61	-43,9	90
Ксилит	200	-36,6	85
Сорбит	235	-26,5	65
Маннит	22	-28,9	90
Мальтит	175	-5,5	89
Лактит	140	-13,9	85
Изомальт	39	-9,4	85

Как показано в табл. 1, данный ряд сахарных спиртов обладает достаточно высокой отрицательной теплотой растворения, а наибольшей из них – эритрит (-43,9 кал/г). Однако у него низкая концентрация растворимости по сравнению с ксилитом (200 г/100 мл), что характеризует последний как более эффективный охлаждающий агент.

Целью работы являлось исследование применения ксилита и эритрита в составе полимерной композиции для получения охлаждающего текстиля. На первом этапе исследования определяли их охлаждающее действие при растворении в воде комнатной температуры (20 °С). Как известно, растворение данных сахарных спиртов в воде происходит с поглощением тепла, в связи с чем наблюдается охлаждающий эффект.

В зависимости от концентрации снижение может составлять более 10 °С (рис. 1).

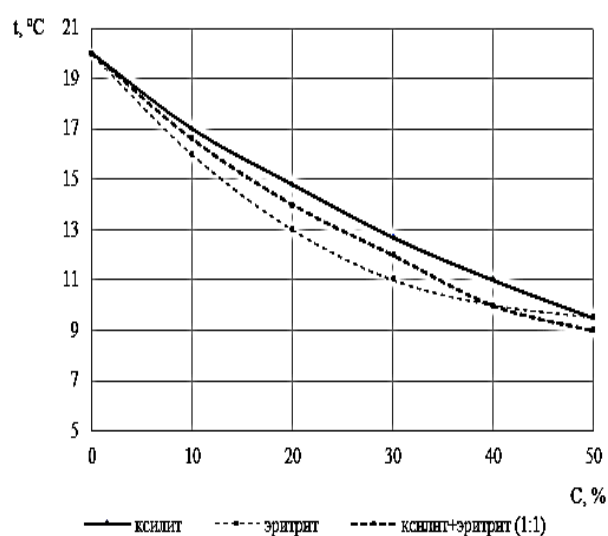


Рис. 1

Далее в растворы с разным содержанием сахарных спиртов погружали образцы трикотажного полотна, высушивали при комнатной температуре. Затем определяли охлаждающий эффект на текстильных образцах после увлажнения (имитации потоотделения тела человека), а также изменение их жесткости при изгибе. Выявлено, что пропитка растворами сахарных спиртов позволяет снизить температуру текстиля при смачивании на 2-5 °С в зависимости от их концентрации. Однако с увеличением концентрации ксилита и эритрита в пропиточном растворе до 25% наблюдается повышение жесткости полотна более чем в два раза, поэтому приемлемой является концентрация охлаждающего агента не более 10%. Отмеченная ранее высокая растворимость ксилита в воде и выявленное наименьшее изменение коэффициента жесткости позволили определить его как наиболее эффективный сахарный спирт в качестве охлаждающего агента для отделки текстиля.

На следующем этапе работы для придания устойчивости охлаждающей отделке рассмотрено использование полимерных композиций на основе акриловой эмульсии. Акриловые соединения широко используются в качестве связующего вещества в различных областях производства и обладают рядом преимуществ, таких как легкость нанесения, надежное соединение с материалом, высокая влагостойкость, гибкость и прочность материала, высокая адгезия, а также безопасность для человека и окружающей среды [7, 10...12]. Оценку охлаждающего эффекта образцов, пропитанных полимерными композициями, проводили методом термографии, варьируя концентрацию в пропиточном составе.

На рис. 2 представлены результаты измерения температуры образцов, обработанных композициями на основе акриловой эмульсии в эффективной концентрации, содержащих охлаждающие агенты, после распыления воды для имитации потоотделения и увлажнения. На рис. 3 приведено наглядное изображение полученных результатов в виде термофотографий.

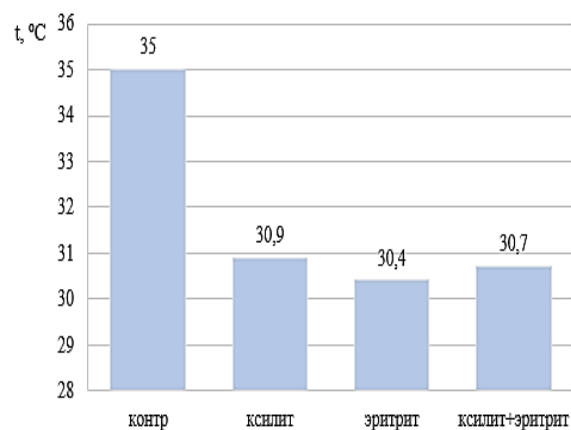


Рис. 2

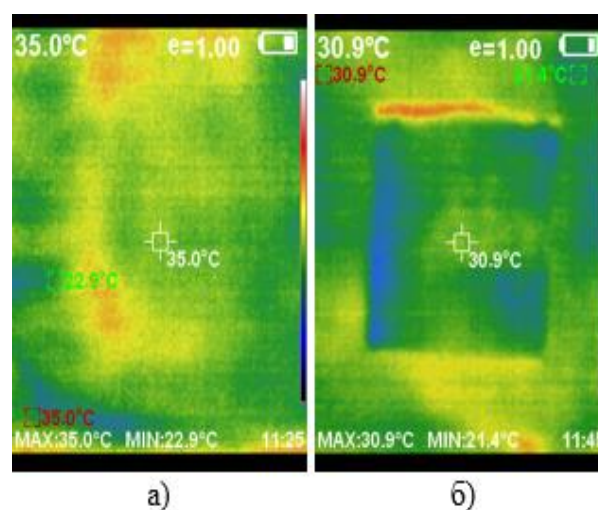


Рис. 3

В данном случае наибольший охлаждающий эффект отделки наблюдается при содержании акриловой эмульсии в пропиточном составе 5%. Для подтверждения полученного охлаждающего эффекта провели отделку готового изделия и испытания на теле человека. После промывки с использованием ПАВ швейно-трикотажное изделие (футболку) разделили на две части, одну из которых подвергли охлаждающей отделке предложенной композицией. Субъект носил образец в течение 5 минут для стабилизации температуры поверхности изделия. Далее для имитации потоотделения и увлажнения равномерно распыляли воду. Изменение термограмм отслеживали сразу после распыления, через 1 минуту и через 5 минут (рис. 4).

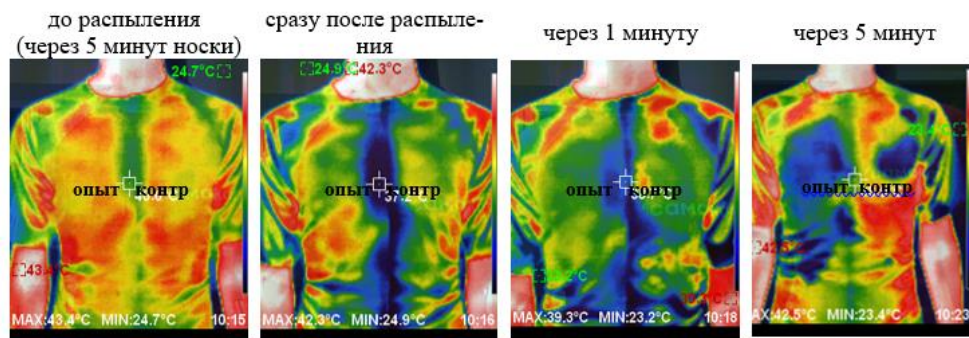


Рис. 4

Спустя пять минут обработанная часть футболки имела температуру на 2-5 °С ниже, чем контрольная (необработанная), из-за эндотермической реакции с водой сымитированного потоотделения.

При производстве охлаждающих текстильных изделий одним из важнейших показателей, определяющих качество готовой продукции, является воздухопроницаемость, так как позволяет сохранять комфортную температуру тела человека. Применение акриловой эмульсии в составе охлаждающего агента требует измерения данного показателя для полученного текстильного материала (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Наименование образца	Воздухопроницаемость, мм/с
Контрольный	830
Опытный	758

Согласно полученным результатам в данных условиях пропитки наблюдается снижение воздухопроницаемости менее чем на 10%.

Микрофотографии образцов трикотажного полотна – контрольного (а) и обработанного с помощью эндотермического агента (б) – представлены на рис. 5.

На микрофотографии опытного образца просматриваются частицы разной формы размером порядка 2-5 мкм, представляющие собой кристаллы ксилита. Морфологическая структура поверхности волокон, в отличие от контрольного образца, менее гладкая и характеризуется неравномерностью, связанной с нанесением пропиточного состава.

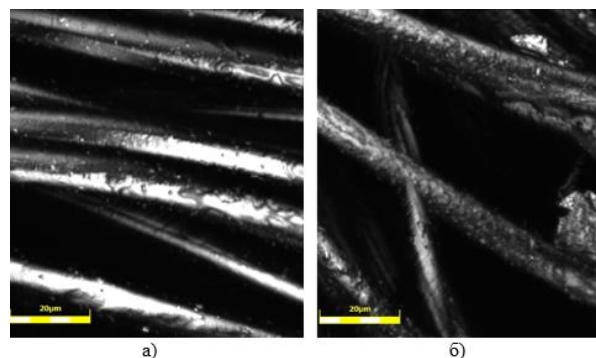


Рис. 5

В Ы В О Д Ы

Использование сахарных спиртов – ксилита и эритрита – при отделке трикотажного полотна позволяет получить устойчивый охлаждающий эффект и ощущение прохлады на теле. Данный метод заключительной отделки трикотажных полотен может быть использован при создании охлаждающего текстиля разного назначения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O.* Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts // *Annual Review of Public Health.* 2016. Vol. 37. P. 97...112.
2. *Goldstein L.S., Dewhirst M.W., Repacholi M., Kheifets L.* Summary, conclusions and recommendations: adverse temperature levels in the human body // *International Journal of Hyperthermia.* 2003. Vol. 19. Is. 3. P. 373...384.
3. *Kuno Y.* Human perspiration // *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences.* Blackwell Scientific Publications: Oxford. 1956. Vol. 42. Is. 3. P. 72.

4. Mack G.W., Nadel E.R. Body fluid balance during heat stress in humans // *Comprehensive Physiology*. 2011, Vol. 14. P. 187...214.

5. Fortune Business Insights: Cooling fabrics market size. – <https://www.fortunebusinessinsights.com/cooling-fabrics-market-105768> (Дата обращения 01.06.2023).

6. Salaiin F., Bedek G., Devaux E., Dupont D., Gengembre L. Microencapsulation of a cooling agent by interfacial polymerization: Influence of the parameters of encapsulation on poly(urethane–urea) microparticles characteristics // *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. Is. 1–2. P. 23...33.

7. Pat. CH106521769A. Cool type fabric weaving process containing xylitol. – <https://patents.google.com/patent/CN106521769A/en>.

8. Gunasekara S. N., Pan G., Chiu J. N., Martin V. Polyols as phase change materials for low-grade excess heat storage // *Energy Procedia: International Conference on Applied Energy, ICAE2014, Elsevier*. 2014. Vol. 61. P. 664...669.

9. Моргунова Е.М., Шугаева Т.В., Гершончик К.Н. Технологические аспекты разработки кондитерских изделий с использованием полиолов // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2021. Т. 14, № 3(53). С. 19...31.

10. Епишкина В.А., Целмс Р.Н., Киселев А.М., Васильев В.К. Роль акриловых сополимеров в создании экотехнологий отделки текстильных материалов // *Химические волокна*. 2015. № 3. С. 74...81.

11. Фазуллина Р.Н., Красина И.В. Влияние акриловой эмульсии на эффективное закрепление вспучивающего антипирена на поверхности текстильных материалов // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19, № 12. С. 114...116.

12. Kim Ji-Yeon Special functional processing that can respond to Cool-Biz and Warm-Biz // *Dyotec vision*. 2012. Vol. 9. P. 8...15.

REFERENCES

1. Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts // *Annual Review of Public Health*. 2016. Vol. 37. P. 97...112.

2. Goldstein L.S., Dewhirst M.W., Repacholi M., Kheifets L. Summary, conclusions and recommendations: adverse temperature levels in the human body //

International Journal of Hyperthermia. 2003. Vol. 19. Is. 3. P. 373...384.

3. Kuno Y. Human perspiration // *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences*. Blackwell Scientific Publications: Oxford. 1956. Vol. 42. Is. 3. P. 72.

4. Mack G.W., Nadel E.R. Body fluid balance during heat stress in humans // *Comprehensive Physiology*. 2011. Vol. 14. P. 187...214.

5. Fortune Business Insights: Cooling fabrics market size. – <https://www.fortunebusinessinsights.com/cooling-fabrics-market-105768> (Accessed 01.06.2023).

6. Salaiin F., Bedek G., Devaux E., Dupont D., Gengembre L. Microencapsulation of a cooling agent by interfacial polymerization: Influence of the parameters of encapsulation on poly(urethane–urea) microparticles characteristics // *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. Is. 1–2. P. 23...33.

7. Pat. CH106521769A. Cool type fabric weaving process containing xylitol. – <https://patents.google.com/patent/CN106521769A/en>.

8. Gunasekara S.N., Pan G., Chiu J.N., Martin V. Polyols as phase change materials for low-grade excess heat storage // *Energy Procedia: International Conference on Applied Energy, ICAE2014, Elsevier*. 2014. Vol. 61. P. 664...669.

9. Marhunova A.M., Shugaeva T.V., Gershonchik K.N. Technological aspects of development confectionery products' with polyols // *Food industry: science and technologies*. 2021. Vol. 14. № 3 (53). P. 19...31.

10. Epishkina V.A., Tselms R.N., Kiselev A.M., Vasilev V.K. The role of acrylic copolymers in the creation of eco-technologies for finishing textile materials // *Himicheskie volokna*. 2015. № 3. P. 74...81.

11. Fazullina R.N., Krasina I.V. The influence of acrylic emulsion on the effective fixation of intumescent fire retardant on the surface of textile materials // *Herald of technological university*. 2016. Vol. 19. № 12. P. 114...116.

12. Kim Ji-Yeon. Special functional processing that can respond to Cool-Biz and Warm-Biz // *Dyotec vision*. 2012. Vol. 9. P. 8...15.

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

РАЗРАБОТКА ОГНЕЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОБИВОЧНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

DEVELOPMENT OF FIRE-RETARDANT COMPOSITION FOR UPHOLSTERY FURNITURE FABRICS

О.Г. ЦИРКИНА¹, А.Х. САЛИХОВА¹, С.А. СЫРБУ¹, В.Г. СПИРИДОНОВА¹, Н.Н. КУЗЬМИНА^{1,2}

O.G. TSIRKINA¹, A.H. SALIKHOVA¹, S.A. SYRBU¹, V.G. SPIRIDONOVA¹, N.N. KUZMINA^{1,2}

(¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²МИРЭА - Российский технологический университет)

(¹Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry
of the Russian Federation for Civil Defense,
²MIREA - Russian Technological University)

E-mail: ogtsirkina@mail.ru, salina_77@mail.ru, syrbue@yandex.ru,
nika.spiridonowa@yandex.ru, nina.kuzmina.1992@mail.ru

Анализ статистических данных о пожарах в помещениях различного функционального назначения свидетельствует о необходимости исследования пожарной опасности современных текстильных материалов, используемых в отделке интерьера. В связи с этим актуальной задачей является разработка огнезащитных составов для тканей декоративного назначения. В работе приведены данные исследования по созданию огнезащитных композиций на базе препарата Пекофлам НФС и кремнийсодержащих добавок для хлопкополиэфирной гобеленовой ткани, которая применяется для обивки мягкой мебели. Исследования проведены в соответствии со стандартными методиками испытания текстильных материалов на воспламеняемость и с использованием метода термогравиметрического анализа. Полученные данные показывают, что нанесенные на ткань разработанные антипирюющие составы исключают возможность загорания гобеленовой ткани от малокалорийных источников зажигания, таких как сигарета или спичка. Отмечено, что результаты исследований по стандартным методикам согласуются с данными термогравиметрического анализа, в ходе которого определены температурные интервалы протекания термоокислительной деструкции материала, изменение скорости потери массы образцов и тепловые эффекты протекающих реакций.

The analysis of statistical data on fires in rooms of various functional purposes indicates the need to study the fire hazard of modern textile materials used in interior decoration. In this regard, the development of flame retardants for decorative fabrics is an urgent task. The paper presents research data on the creation of fire-retardant compositions based on the drug Pecoflam HFC and silicon-containing additives for cotton-polyester tapestry fabric, which is used for tapestry fabric of upholstered furniture. The studies were carried out in accordance with standard methods for testing textile materials for flammability and using the method of thermogravimetric analysis. The data obtained show that the developed flame retardant compounds applied to the fabric eliminate the possibility of tapestry fabric catching fire from low-calorie ignition sources such as a cigarette or match. It is noted that the results of studies using standard methods are consistent with the data of thermogravimetric analysis,

during which the temperature intervals for the occurrence of thermal-oxidative destruction of the material, changes in the rate of mass loss of samples are determined, and the thermal effects of the ongoing reactions are determined.

Ключевые слова: гобелен, антипирен, кремнийсодержащий препарат, воспламеняемость, горение, термогравиметрический анализ.

Keywords: tapestry, flame retardant, silicon-containing preparation, flammability, burning, thermogravimetric analysis.

Введение

Результаты анализа статистических данных по пожарам на территории Российской Федерации за 2022 г. свидетельствуют о том, что доля пожаров на объектах жилого фонда составляет 31,4% от их общего числа, при этом количество жертв на указанных объектах приближается к 90% от числа всех погибших на пожарах, а доля материального ущерба от пожаров в зданиях жилого назначения – 30,6%.

Во многом это явление обусловлено тем, что в жилых помещениях пожарную нагрузку составляет мебель, в том числе мягкая, и элементы текстильного оформления интерьера: чехлы на мебель, покрывала и всевозможные подушки, шторы и занавесы. За 2021 г. в помещениях, где основную часть пожарной нагрузки составляют текстильные декоративные материалы, а именно в помещениях культурно-досуговых и религиозных объектов (выставочных, зрительных залах, сценах) произошло 16 пожаров. При пожарах на транспортных средствах распространению огня также способствует наличие текстильных обивочных материалов в кузовах и салонах автотранспорта: за 2021 год зафиксировано в кабинах водителя 508 пожаров, в салонах автомобилей – 5240 [1]. Таким образом, статистические данные подтверждают необходимость исследования пожарной опасности современного ассортимента тканей декоративного назначения с целью повышения уровня пожарной безопасности помещений, объектов, где эти материалы применяются.

Приданию огнезащитных свойств тканым материалам уделяется внимание как отечественных исследователей, так и зарубежных [2, 3], что подтверждает актуаль-

ность поиска возможных решений указанной проблемы.

Способность к возгоранию и скорость горения на воздухе большинства тканей и изделий из них отличается и зависит от трех основных параметров: химического строения волокнообразующих полимеров; физической структуры текстильного волокна и материала в целом; условий окружающей среды [4].

Основной задачей проведенного исследования является разработка состава для огнезащитной обработки декоративных интерьерных тканей из смешанных волокон (хлопок/полиэфир) жаккардового переплетения, обеспечивающего огнезащитные свойства, перманентность и сохранение грифа ткани после ее обработки.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны смесовая ткань гобелен с поверхностной плотностью 278 г/м², выработанная из хлопкового и полиэфирного волокон, и антипирен с техническим названием Пекофлам НФС, который представляет собой органическое фосфорно-азотистое соединение. По данным производителя, Пекофлам НФС имеет уникальный химический механизм фиксации на текстиле и показывает высокую эффективность по сравнению с традиционно используемыми химическими веществами на основе азота и/или фосфора в решении вопросов противопожарной защиты различных полимерных материалов [5]. Помимо этого, Пекофлам НФС отвечает критериям стандарта Эко-Текс 100, то есть является экологичным и может использоваться для интерьерных и мебельных материалов, поскольку не представляет опасности для здоровья человека.

С целью расширения спектра эксплуатационных свойств гобеленовой ткани в один из пропиточных составов вводили кремнийорганические полимеры (силиконы) – соединения, содержащие цепочку атомов $-Si-O-Si-O-$, модифицированную различными органическими группами. Их присутствие в текстильном материале призвано повысить его термическую устойчивость, атмосферостойкость, устойчивость к действию кислорода воздуха и влаги. Серьезным преимуществом силоксановых эластомерных компонентов является способность длительно сохранять высокие эксплуатационные свойства при длительном воздействии агрессивных сред и высоких температур. Именно этими свойствами и объясняется возможность использования смолы в качестве компонента огнезащитного состава.

Другим кремнийсодержащим соединением, которое вводили в качестве дополнительного компонента в состав пропиточного раствора антипирена, был диоксид кремния SiO_2 . Соединение обладает идеальной устойчивостью к действию кислорода, различных агрессивных сред, в том числе кислот. Широкое использование диоксида кремния в производстве огнеупорных материалов позволяет предположить его эффективное действие в составе огнестойкой пропитки.

Известно [6], что нанесенные на волокнистые материалы отделочные препараты снижают прочностные показатели ткани, поэтому с целью уменьшения потерь прочности в пропиточные составы в качестве пластификаторов вводили поливинилацетатную эмульсию (ПВА).

Таким образом, для исследования были приготовлены три пропиточных состава:

- состав №1: Пекофлам – 300 мл/л, кремнийорганическая смола марки RUT 3010 (далее – КОС) – 50 мл/л, $CH_3 COOH$ (10%-ная) – 5 мл/л, ПВА – 10 мл/л;

- состав №2: Пекофлам – 300 мл/л, SiO_2 (порошок) марки «Ковелос» – 10 г/л, $CH_3 COOH$ (10%-ная) – 5 мл/л;

- состав №3: Пекофлам – 300 мл/л (контрольный образец).

Пропитку ткани осуществляли при температуре 70-80°C, что связано с плохой рас-

творимостью кремнийсодержащих соединений при более низких температурах. Высокая температура раствора также интенсифицировала пропитку плотного и многослойного (за счет особенностей ткацкого переплетения) гобелена. Далее образцы с нанесенными антипиренными составами отжимались на плюсовке, высушивались при температуре 40-50°C и подвергались термообработке при температуре 150°C в течение 1,5 мин.

При проведении исследований руководствовались гостированными методиками [7, 8], а также использовали метод термогравиметрического анализа.

Результаты и обсуждение

Обработка материала огнезащитными составами не должна ухудшать другие потребительские свойства ткани – влиять на ее гриф и значительно утяжелять изделия. После обработки образцы не приобрели жесткости, а их привесы по сравнению с аналогичным необработанным образцом составили: Пекофлам + КОС – 26%; Пекофлам + Ковелос – 13%; Пекофлам – 9%.

Испытания обработанного растворами антипиренов хлопкополиэфирного гобелена проводились по методике ГОСТ Р 53294-2009 [7]. Огнестойкость мебельных тканей проверяется сигаретным тестом, который заключается в следующем: берутся два кусочка поролона и обтягиваются испытуемой тканью. Эти детали прислоняются друг к другу под углом 90 градусов, имитируя диван. Раскуренная сигарета кладется в стык деталей. Испытания проводятся трижды. Если во всех трех испытаниях сигарета дотлела до фильтра и не произошло воспламенения, то тест считается пройденным.

В соответствии с указанным ГОСТом материал или комбинация материалов классифицируются как легковоспламеняемые при проявлении одного из следующих признаков:

- горение или тление распространилось за время испытаний до верхней или нижней границы испытательного стенда или на всю толщину материала;

- образец обуглился на расстояние более 100 мм в любом из направлений от места воздействия тлеющей сигареты;

- наблюдается устойчивое горение образца после удаления газовой горелки в течение более 120 с.

Если перечисленные признаки не наблюдаются, то комбинация материалов не может быть отнесена к легковоспламеняемой.

На фотографиях приведены результаты испытания тканей на воспламеняемость в соответствии с [7].

Материал без огнезащиты относится к легковоспламеняемым, так как тление распространилось за время испытаний практически до нижней границы испытательного стенда (рис. 1).



Рис. 1

Испытания образцов показали отсутствие признаков горения и тления, присутствующих легковоспламеняемому материалу, поэтому материал, обработанный составом №1, можно отнести к трудновоспламеняемым (рис. 2).



Рис. 2

Испытания образцов показали наличие горения и тления только материала в течение 6 секунд, обугливание наполнителя не происходило, горения и тления по толщине стенда не наблюдалось. Поэтому материал, обработанный составом №2, можно отнести к трудновоспламеняемым (рис. 3).



Рис. 3

Испытания образцов показали наличие горения и тления в течение 7 секунд, обугливание на расстояние 3 мм, что не превышает критического значения 100 мм, горения и тления по толщине стенда не наблюдалось. Поэтому материал, обработанный составом №3, можно также отнести к трудновоспламеняемым (рис. 4).



Рис. 4

Данный метод испытаний характеризует воспламеняемость текстильного материала от малокалорийного источника зажигания. Учитывая, что причиной 40% пожаров в жилых помещениях является неосторожность при курении, можно сделать вывод о том, что при обработке всеми тремя представленными составами обивки мебели или покрывал из гобеленовой ткани обеспечивается защита от воспламенения.

Проведены также испытания по методике ГОСТ Р 50810-95 [8]. Получены следующие результаты. Исследуемые составы обладали огнезащитным действием. Обработанные образцы ткани после удаления из пламени не горели и не тлели. Образец ткани без обработки сгорел полностью, поэтому данных по нему для сравнения не приводим. В табл. 1 приведены средние показатели результатов испытаний образцов гобелена на воспламеняемость в соответствии с [8].

Регистрируемые параметры	Испытания (средние показатели)					
	Состав №1		Состав №2		Состав №3	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток
Время зажигания с поверхности, с	4	3	4	2	2	1
Время самостоятельного горения, с	6	5	4	5	6	7
Прогорание до кромки	-	-	-	-	-	-
Воспламенение хлопчатобумажной ваты	-	-	-	-	-	-
Прожиг ткани	-	-	-	-	+	+

Полученные данные позволяют сделать вывод, что материалы, обработанные исследуемыми составами, можно классифицировать как трудновоспламеняемые. Однако образцы, обработанные составами «Пекофлам + кремнийорганическая смола» (состав №1) и «Пекофлам + диоксид кремния «Ковелос» (состав №2), показали более высокие результаты огнезащиты по сравнению с «Пекофламом» (состав №3). Об этом позволяют судить регистрируемые параметры – время зажигания образца с поверхности и время самостоятельного горения. По сравнению с контрольным образцом Пекофлама без добавок (состав №3), для составов №1 и №2 время зажигания с поверхности увеличивается, а для состава №2 дополнительно происходит сокращение времени самостоятельного горения. Помимо этого, образцы, обработанные водным раствором Пекофлама, подвержены прожигу,

а для образцов №1 и №2 данного явления не наблюдается.

С целью объяснения полученных результатов с точки зрения физико-химических процессов, протекающих в обработанных материалах при воздействии высоких температур, проведен термогравиметрический анализ образцов хлопкополиэфирного гобелена. Возможность успешного применения данных термогравиметрического анализа при исследованиях пожароопасных свойств текстильных материалов продемонстрирована ранее в работах [9...11].

Кривые термогравиметрии получены на дифференциальном сканирующем калориметре Q 500 фирмы INTEC. Измерения проводились в режиме нагрева в диапазоне температур от 0°C до 700°C. Обработка кривых проведена методом модуляционных стандартов.

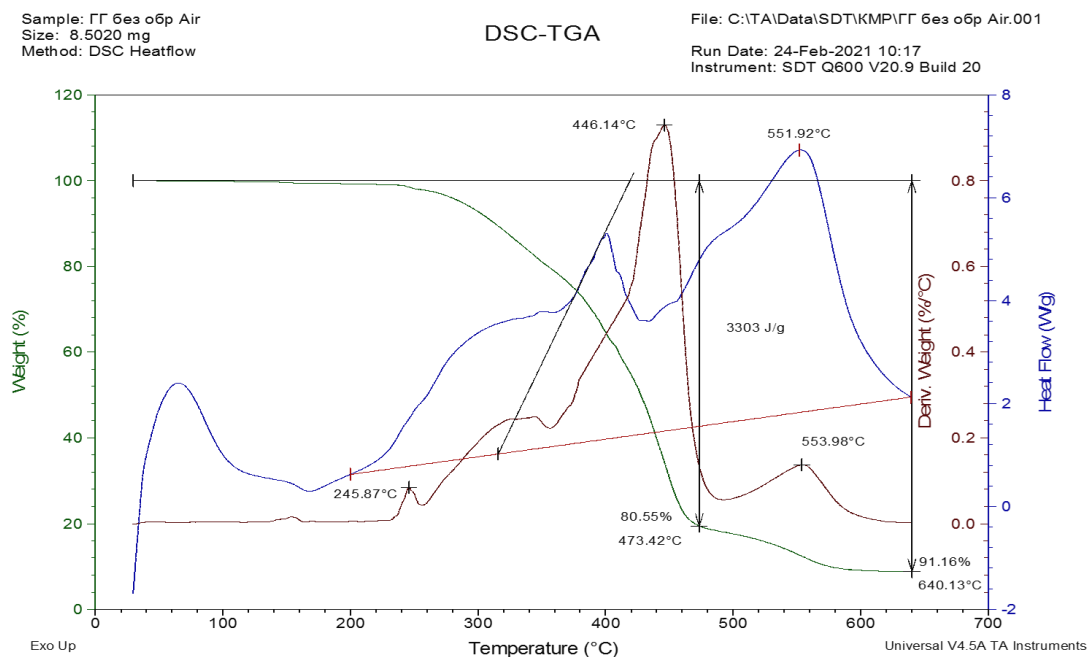


Рис. 5

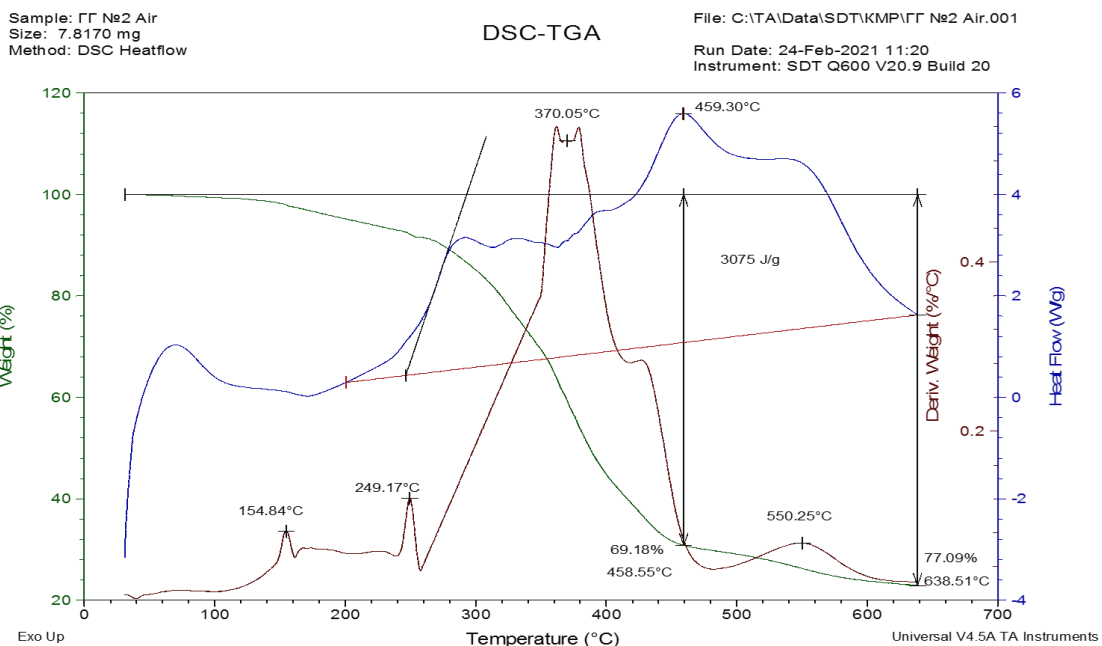


Рис. 6

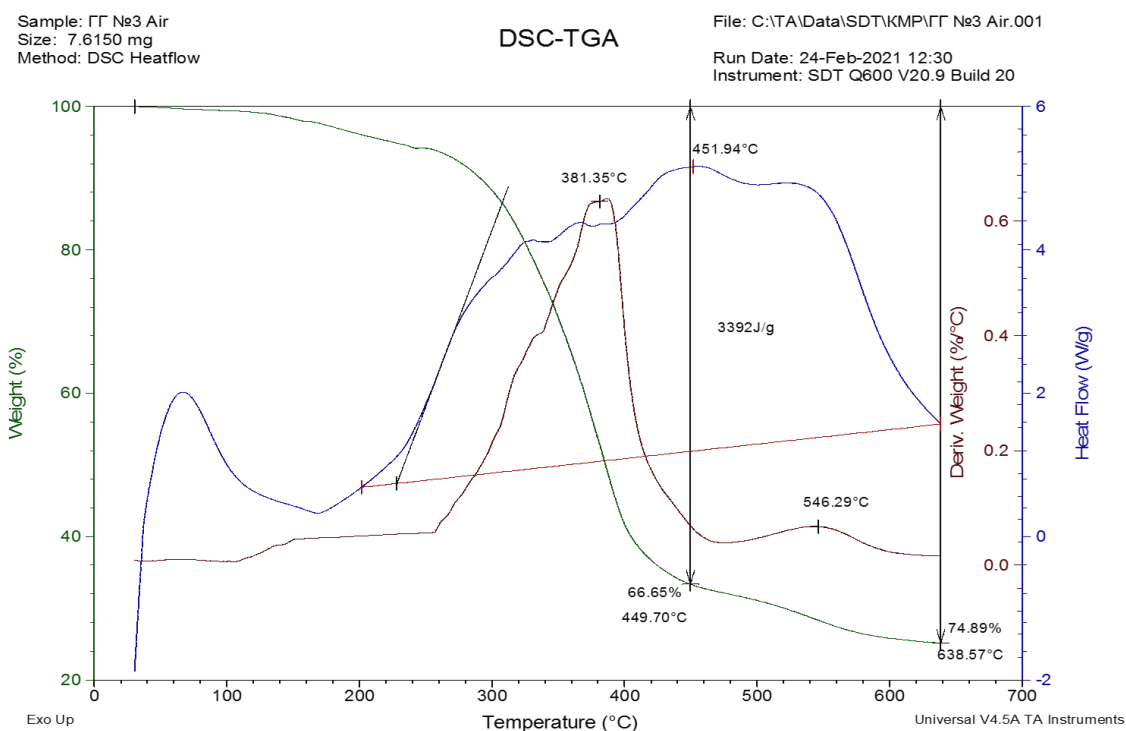


Рис. 7

Термогравиметрический анализ проводился в условиях, описанных в работе [7]. На основе данных термического анализа получена зависимость потери массы от температуры для исследуемых исходных образцов и обработанных антипиренирующими составами. На рис. 5...7 приведены термогравиметрические кривые для образцов хлопкополиэфирного гобелена: рис. 5 – без

огнезащитной обработки; рис. 6 – с огнезащитной обработкой составом №1; рис. 7 – с огнезащитной обработкой составом №2. На представленных рисунках зеленым цветом показаны кривые потери массы образцов, красным – скорость потери массы, синим – кривая изменения теплового потока.

Анализ полученных кривых потери массы показывает увеличение температуры

начала термоокисления у обработанных замедлителями горения тканых материалов. По кривой потери массы можно также довольно точно определить температурные интервалы происходящих в материале процессов. Так, деструкция тканого материала протекает в атмосфере воздуха в трех температурных диапазонах:

1-й диапазон 30-200 °С – потеря сорбционной влаги, которая составляет 4-7 % масс. в зависимости от плотности ткани и структуры волокон. Для необработанной ткани потеря массы составляет менее 1 %. Для образцов, обработанных составами «Пекофлам + кремнийорганическая смола» и «Пекофлам + диоксид кремния «Ковелос», потеря массы составляет около 1,5 %.

2-й диапазон 200-350 °С – термоокислительная деструкция макромолекул целлюлозы (с потерей < 60 % массы) с максимумом скорости потери массы при 320-340 °С. После удаления влаги из материала идет резкое снижение массы образцов, связанное с началом термодеструкции материалов на основе целлюлозы, не обработанных замедлителями горения, в диапазоне температур от 300-350 °С. При этом значительно снижается степень полимеризации целлюлозного волокна. Для необработанной ткани потеря массы составляет – 80,55%. Для образца, обработанного составом «Пекофлам + кремнийорганическая смола», потеря массы составляет 69,18%. Для образца, обработанного составом «Пекофлам + диоксид кремния «Ковелос», потеря массы составляет 66,65%.

3-й диапазон 400-500 °С – окончание процесса термоокисления, сопровождающегося полным разрушением целлюлозы с образованием зольного остатка, масса которого зависит в основном от нанесенных на ткань органических и неорганических препаратов.

В зависимости от состава пропиточного раствора изменяется и масса карбонизированного/зольного остатка. Для необработанной ткани карбонизированный остаток при температуре 640,13 °С составляет 8,84%. Для образца, обработанного составом «Пекофлам + кремнийорганическая смола», зольный остаток при температуре 638,51 °С составляет 22,91%. Для образца,

обработанного составом «Пекофлам + диоксид кремния «Ковелос», зольный остаток при температуре 638,57 °С составляет 25,11%.

Термодеструкция тканых материалов, обработанных замедлителями горения, сопровождается двумя пиками ДТА максимумами ДТГ – скоростей потери массы при 470-490 °С. Процессы протекают с выделением горючих газов, при этом максимумы скорости потери массы близки или совпадают с максимумами тепловыделения и выделения горючих газов, что свидетельствует о термоокислении материала.

Анализ полученных данных показал, что для огнезащитных материалов характерна сглаженность пиков ДТГ кривых термодеструкции, что связано с более плавной потерей массы, – малый пик наблюдается в области 300-310 °С, при этом скорости окисления по сравнению с необработанными тканями выше, но сам процесс термоокисления сдвигается в область более высоких температур. После достижения температуры 300 °С скорость термоокислительной деструкции необработанного материала резко возрастает, и в интервале 300-500 °С происходит его полное разложение.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработка ткани огнезащитными составами приводит к увеличению массы зольного остатка, в котором помимо кокса содержатся продукты окисления кремния, приводящие к увеличению его массы по сравнению с коксовым остатком необработанного гобелена.

Следует отметить, что обработка гобелена предлагаемыми составами не привела к ухудшению физико-механических и декоративных свойств материала. Помимо этого, при обработке составом с содержанием кремнийорганической смолы материал дополнительно приобретал гидрофобные и грязеотталкивающие свойства.

Таким образом, данные, полученные в результате испытаний образцов по ГОСТ Р 50810-95 (раздел 6), и данные термического анализа полностью согласуются между собой. Полученные в результате обработки предложенными составами мебельные ткани классифицируются как трудновоспламеняемые.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны огнезащитные составы на основе препарата Пекофлам и кремний-содержащих добавок для смесовых мебельных тканей. Показано, что в результате обработки предложенными композициями исключается возможность загорания текстильных материалов от малокалорийных источников зажигания (сигарета, спичка).

2. Данные термогравиметрического анализа показывают, что обработка ткани огнезащитными составами приводит к уменьшению величины потери массы материала в результате термоокислительной деструкции и к увеличению количества зольного остатка в случаях обработки гобелена составами с содержанием соединений кремния.

3. Ткани, обработанные предложенными композициями, являются трудновоспламеняемыми в соответствии с ГОСТ Р 53294-2009. Органолептическая оценка свойств готовых материалов (яркость и интенсивность окраски, гриф ткани) свидетельствует о том, что обработка гобелена предлагаемыми составами не приводит к ухудшению его декоративных свойств. Перспективы дальнейших исследований предусматривают использование инструментальных методов анализа для определения физико-механических показателей огнезащищенных тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сб-к / под общей ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
2. Horrocks A. Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. 2013, vol. 98, pp. 2813...2824.
3. Horrocks A., Nazare S. Surface modification of fabrics for improved flash-fire resistance using atmospheric pressure plasma in the presence of a functionalized clay and polysiloxane / Polymers for Advanced Technologies. 2011, vol. 22 (1), pp. 9...22.
4. Болодьян Г.И. Комплексный подход к созданию пожаробезопасных текстильных материалов и изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2003. 166 с.
5. Пекофлам HFC. – <https://coatings.specialchem.com/product/a-archroma-pekoflam-hfc>. Дата обращения 16.11.2023.

6. Физико-химические основы процесса отделочного производства / Б.Н. Мельников [и др.]. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.

7. ГОСТ Р 53294-2009. Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость. М.: Стандартинформ, 2009. 13 с.

8. ГОСТ Р 50810-95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация. М.: Изд-во стандартов, 1995. 12 с.

9. Сырбу С.А., Салихова А.Х., Федоринов А.С. Разработка огнезащитных составов для текстильных материалов декоративного назначения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). С. 114...117.

10. Циркина О.Г., Шарнина Л.В., Никифоров А.Л., Петров А.В., Ульева С.Н., Сорокин Д.В. Оценка пожароопасных свойств текстильных материалов из природных целлюлозных волокон // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. №3 (32). С. 81...88.

11. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Петров А.В., Никифоров А.Л., Ульева С.Н. Использование методов термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов из целлюлозных волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5 (389). С. 92...97.

REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2020: Statistical collection / edited by D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 p.
2. Horrocks A. Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. 2013, vol. 98, pp. 2813...2824.
3. Horrocks A., Nazare S. Surface modification of fabrics for improved flash-fire resistance using atmospheric pressure plasma in the presence of a functionalized clay and polysiloxane / Polymers for Advanced Technologies. 2011, vol. 22 (1), pp. 9...22.
4. Bolodyan G.I. An integrated approach to the creation of fireproof textile materials and products: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.26.03. M., 2003. 166 p.
5. Pecoflam HFC. – <https://coatings.specialchem.com/product/a-archroma-pekoflam-hfc>. Access date 11/16/2023.
6. Physico-chemical fundamentals of the finishing production process / B.N. Melnikov [et al.]. M.: Light and food industry, 1982. 280 p.
7. GOST R 53294-2009. Textile materials. Bedding. Soft furniture elements. Curtains. Curtains. Methods of flammability tests. Moscow: Standartinform, 2009. 13 p.
8. GOST R 50810-95. Fire safety of textile materials. Decorative fabrics. The method of testing for flammability and classification. M.: Publishing House of Standards, 1995. 12 p.

9. *Syrbu S.A., Salikhova A.H., Fedorinov A.S.* Development of flame retardants for decorative textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2018, vol. 3 (375), pp. 114...117.

10. *Tsirkina O.G., Sharnina L.V., Nikiforov A.L., Petrov A.V., Uleva S.N., Sorokin D.V.* Assessment of fire-hazardous properties of textile materials from natural cellulose fibers // *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2019, vol. 3 (32), pp. 81...88.

11. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Petrov A.V., Nikiforov A.L., Uleva S.N.* The use of thermal analysis

methods to assess the fire-hazardous properties of textile materials from cellulose fibers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020, vol. 5 (389), pp. 92...97.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 23.01.24.

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_131

**МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО СРАВНЕНИЯ
ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОДЕЖДЫ С РЕАЛЬНЫМ ОБРАЗЦОМ**

**QUANTITATIVE METHOD FOR COMPARING
A VIRTUAL CLOTHING MODEL WITH A REAL SAMPLE**

Д.Н. ГОГУЗЕВ, И.А. ПЕТРОСОВА, Е.Г. АНДРЕЕВА

D.N. GOGUZEV, I.A. PETROSOVA, E.G. ANDREEVA

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: goguzev_daniil.gonor@mail.ru, 76802@mail.ru, andreeva-eg@rguk.ru

В статье рассмотрены и проанализированы современные направления применения трехмерных систем проектирования одежды. Определено, что свойства материалов оказывают значительное влияние на точность передачи формы одежды в трехмерной среде. Разработано конструктивное решение женской одежды с элементами сложной объемной формы в области плечевого пояса и изготовлены макеты изделий из текстильных материалов. Выполнена визуализация и виртуальная примерка в системе Clo3D. Проведено исследование соответствия формы одежды, получаемой в виртуальной среде, реальным образцам изделий. Предложены количественные критерии оценки, позволяющие принять решение о необходимости внесения изменений в конструктивное решение или выбор свойств материалов.

The article considers and analyzes modern areas of application of three-dimensional clothing design systems. It is determined that the properties of materials have a significant impact on the accuracy of the transfer of clothing in a three-dimensional environment. A constructive solution for women's clothing with elements of a complex three-dimensional shape in the area of the shoulder girdle has been developed and mock-ups of products made of textile materials have been made. Visualization and virtual fitting in the Clo3D system were performed. A study was made of the conformity of the clothing form obtained in a virtual environment with real samples of products. Quantitative evaluation criteria are proposed to make a decision on the need to make changes to the design solution or the choice of material properties.

Ключевые слова: digital, виртуальная среда, 3D одежда, 3D визуализация одежды.

Keywords: digital, virtual environment, 3D clothes, 3D clothes visualization.

Традиционно при проектировании новых моделей одежды в промышленном производстве требуется неоднократное изготовление макетов и образцов проектируемых изделий и их примерка на типовые фигуры. Для улучшения этапов проектирования одежды учеными ведутся работы по наполнению баз данных [1], содержащих антропометрическую информацию о фигурах в трехмерном формате [2]. Развитие современных программных продуктов приводит к тому, что все большее количество предприятий легкой промышленности применяют в своей деятельности системы трехмерного моделирования одежды, что позволяет визуализировать модель на фигуре и более точно представить внешний вид будущего изделия, т.е. использовать виртуальную примерку.

Большое разнообразие материалов с различными свойствами [3], а также применение новых технологий, таких как искусственный интеллект, для создания художественных эскизов [4] приводит к получению новых творческих решений в трехмерной среде [5].

Для оценки соответствия внешней формы поверхности виртуальной модели реальному образцу одежды известны методы применения трехмерного сканирования [6], методы измерения интенсивности серого цвета для идентификации складок или дефектов на поверхности виртуальных рукавов [7], известен сенсорный метод, который отличается недостаточной точностью, так как базируется на субъективных параметрах оценки.

Ряд САПР одежды, таких как «Julivi», «i-Designer», Assyst, FNXTECH, Gerber Technology, OPTITEX, Shima Seiki, tg3d, CentricSoftware, Browzwear, Buyi, позволяют внести изменения в конструкцию разработанной в виртуальной среде модели одежды с одновременной корректировкой плоских лекал. Одними из самых точных в достижении схожести виртуального образца и реальной модели одежды являются программы CLO 3D и Marvelous designer.

Эти САПР позволяют изменить антропометрические характеристики аватара; настроить физические свойства материала; поддерживают опции многослойного проектирования, благодаря данной функции открывается возможность создания сложных конструкций одежды.

Несмотря на все положительные качества CLO 3D, доказана сложность определения и передачи свойств материалов, а именно эти параметры во многом определяют точность получаемой формы одежды [5]. Многие исследователи разрабатывают системы оценки качества одежды, в том числе с применением систем технического зрения [8]. Для получения одежды с высоким качеством посадки на фигуре и для достоверной виртуальной примерки встает необходимость разработки методики сравнения моделей одежды, выполненных в виртуальной среде (МОВС), с реальными образцами одежды (РОО) на основе применения объективных количественных параметров сравнения.

В качестве объекта исследования использована конструкция женского плаща, виртуальные модели женского плаща из материалов с разными физико-механическими свойствами, реальный образец модели женского плаща. Конструкция разработана на типовую женскую фигуру 176-88-100.

В работе использованы методы фотограмметрии и программное обеспечение: CLO 3D для получения виртуальных моделей одежды; Adobe Illustrator и AutoCAD для графического анализа; Excel для обработки результатов исследования.

В исследовании разработана конструкция женского плаща, отличающаяся сложной пространственной формой с увеличенным объемом в области плеч. Внешний вид проектируемой модели представлен на рис. 1: художественной эскиз (рис. 1, а), технический эскиз (рис. 1, б) и фотоизображение реального образца из макетной ткани (рис. 1, в). Конструктивное решение женского плаща представлено на рис. 2.

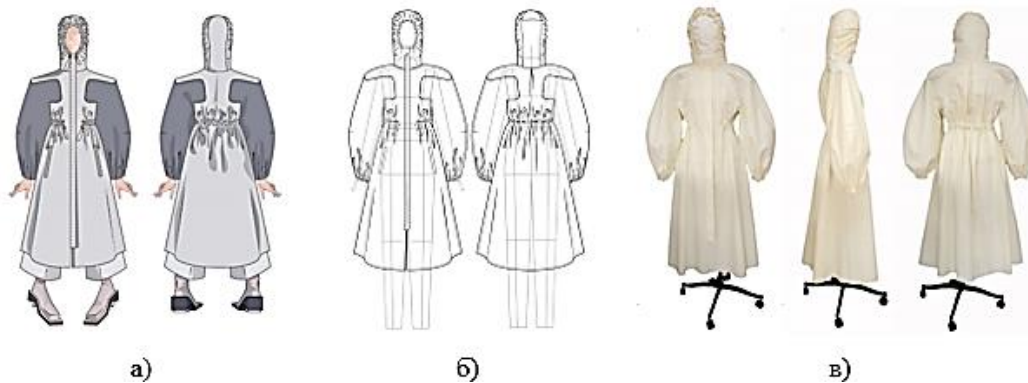


Рис. 1

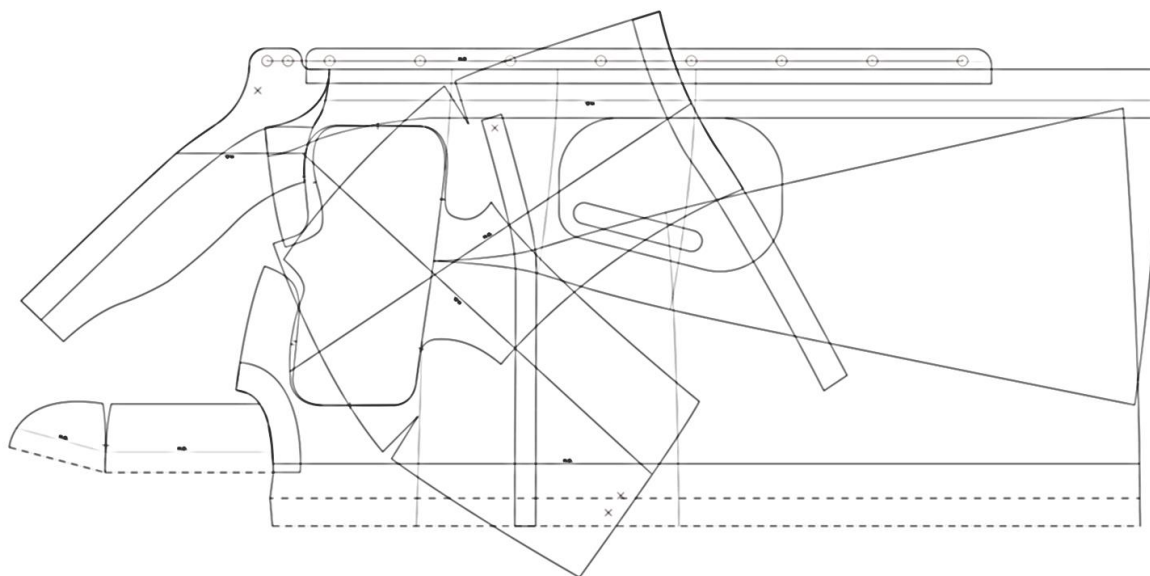


Рис. 2

Для получения виртуальной модели женского плаща необходимо настроить физические свойства материала. Чтобы реализовать этот этап для реального образца ткани выполнено: измерение микрометром толщины материала – 0,3 мм, измерение веса материала на диаметр 100 мм – 0,8 г; плотность материала – 80 г/см. Расчет эластичности, драпируемости и жесткости материала выполнен на основе измерений поведения реальной ткани (107,5 см x 107,5 см), выложенной на поверхность круглого стола. Те же условия воссозданы и для симуляции в трехмерной среде, ткань настроена по физическим параметрам поведения реального образца ткани. На рис. 3 изображен виртуальный двойник образца материала.

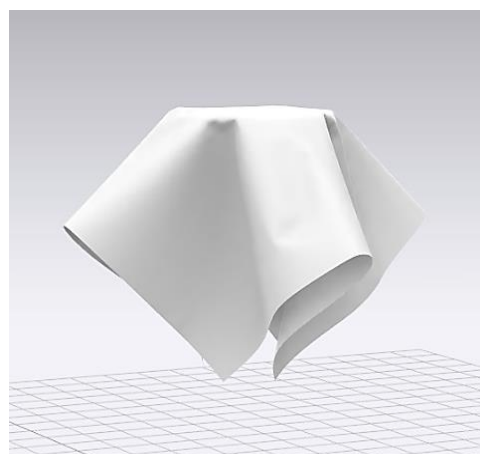


Рис. 3

Для сравнения виртуальной модели с реальным образцом одежды использован

метод фотограмметрии. Изображение модели одежды, выполненной в виртуальной среде, фиксируют и сохраняют с помощью функции фото экрана. Изображение реального образца получают с помощью фотокамеры Canon EOS 600D.

В связи с тем, что в методике сравнения виртуальной модели с реальным образцом одежды применяют измерение величин углов наклона линий на фотоизображении, проведена оценка дисторсии камеры по следующей методике. Создают материальную матрицу. В качестве материальной матрицы выступает плоскость с нанесенными на нее метками в виде геометрических элементов, в частности прямоугольников. При этом каждая сторона выбранных прямоугольников не должна превышать величины погрешности измерений. Для исследования предметов одежды выбрана матрица с размером 1x1 см сине-сиреневого цвета.

Устанавливают камеру на расстоянии 120 сантиметров от области выполнения съемки. Считывают информацию о материальной матрице. На рис. 4, а приведено фотоизображение материальной матрицы.

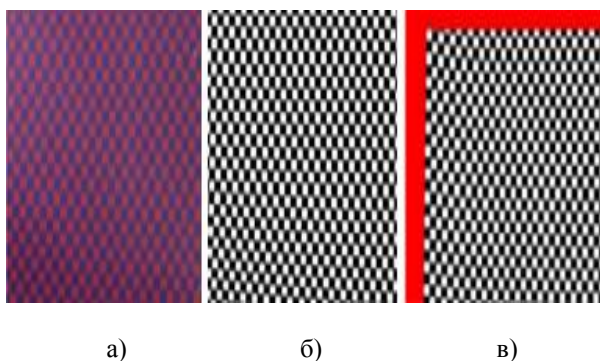


Рис. 4

Выполняют распознавание и идентификацию каждой метки и приведение их к черно-белому виду (рис. 4, б) и производят оценку дисторсии камеры. Для этого измеряют величину углов между пересекающимися линиями на изображении. В случае наличия дисторсии прямые линии снимае-

мых объектов отображаются в виде изогнутых дуг. Красным цветом отображена зона, где не должен находиться измеряемый объект из-за краевых искажений материальной матрицы (рис. 4, в).

Материальную матрицу удаляют из зоны считывания и на ее место устанавливают реальный образец одежды, одетый на манекен.

Для проведения количественной оценки выбраны величины наклона углов силуэтных контуров модели одежды относительно вертикалей или горизонталей. Сформирован следующий перечень конструктивных параметров.

Вид спереди:

- угол наклона касательной к линии плечевого ската у точки основания шеи (\angle п.с.н.);
- угол наклона линии, соединяющей плечевую точку и точку основания шеи (\angle п.т.н.);
- угол наклона боковой силуэтной линии от линии талии вверх (\angle б.с.в.);
- угол наклона боковой силуэтной линии от линии талии вниз (\angle б.с.н.);
- угол наклона линии, соединяющей линию талии и низ изделия (\angle ш.н.);
- угол наклона силуэтной линии рукава от линии локтя вверх (\angle с.р.в.) на виде спереди;
- угол наклона силуэтной линии рукава от линии локтя вниз (\angle с.р.н.) на виде спереди.

Вид сбоку:

- угол отклонения от вертикали передней силуэтной линии на уровне линии груди (\angle п.в.);
- угол наклона задней силуэтной линии от линии талии вверх (\angle з.с.в.);
- угол наклона задней силуэтной линии от линии талии вниз (\angle з.с.н.);
- угол отклонения от вертикали задней силуэтной линии на уровне линии талии (\angle з.в.).

Схема, отражающая положение перечисленных конструктивных параметров на фотоизображении реального образца одежды, представлена на рис. 5.



Рис. 5

Метод включает в себя определение 11 конструктивных параметров. Измерения выполнены по фотоизображению реаль-

ного образца одежды (рис. 5), одетого на манекен, а значения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивный параметр	РОО (рис. 5)	МОВС1 (рис. 6)	Отклонения между РОО и МОВС1	МОВС2 (рис. 7)	Отклонения между РОО и МОВС2	МОВС3 (рис. 8)	Отклонения
КП1-∠п.с.н	110°	100°	10°	100°	10°	110°	0°
КП2-∠п.т.н.	120°	115°	5°	115°	5°	120°	0°
КП3-∠б.с.в.	155°	160°	-5°	155°	0°	0°	0°
КП4-∠б.с.н.	160°	155°	5°	155°	5°	5°	5°
КП5-∠ш.н.	170°	175°	-5°	170°	0°	0°	0°
КП6-∠п.в.	95°	95°	0°	95°	0°	0°	0°
КП7-∠з.с.в.	165°	153°	12°	165°	0°	0°	0°
КП8-∠з.с.н.	165°	165°	0°	165°	0°	0°	0°
КП9-∠з.в.	170°	175°	5°	172°	-2°	-2°	-2°
КП10-∠с.р.в.	165°	175°	10°	165°	0°	0°	0°
КП11-∠с.р.н.	165°	175°	10°	165°	0°	0°	0°

На первом этапе для создания образца плаща в виртуальной среде создан виртуальный аватар, максимально близкий по значениям размерных признаков к типовому манекену, выбраны свойства материала, близкого по показателям к макетной ткани. Получен первый вариант МОВС1 (рис. 6).

При сравнении величин измерений соответствующих конструктивных параметров МОВС1 и РОО выявлены значительные отклонения, что обусловлено неверным подбором физических свойств материалов, из которых выполнены МОВС1 и РОО.

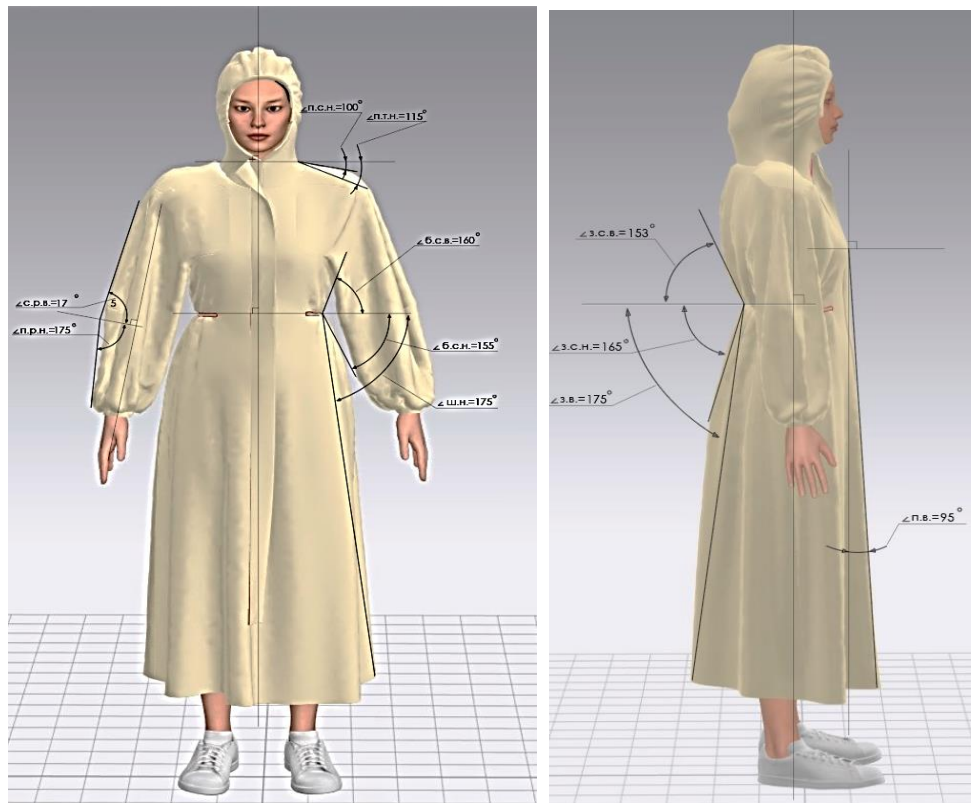


Рис. 6

Отличие конструктивных параметров друг от друга позволяет внести исправления в настройки свойств виртуального материала. Выполнена виртуальная модель

одежды № 2 (рис. 7) с измененными физическими свойствами и свойствами симуляции для достижения большей схожести виртуального образца и реального.

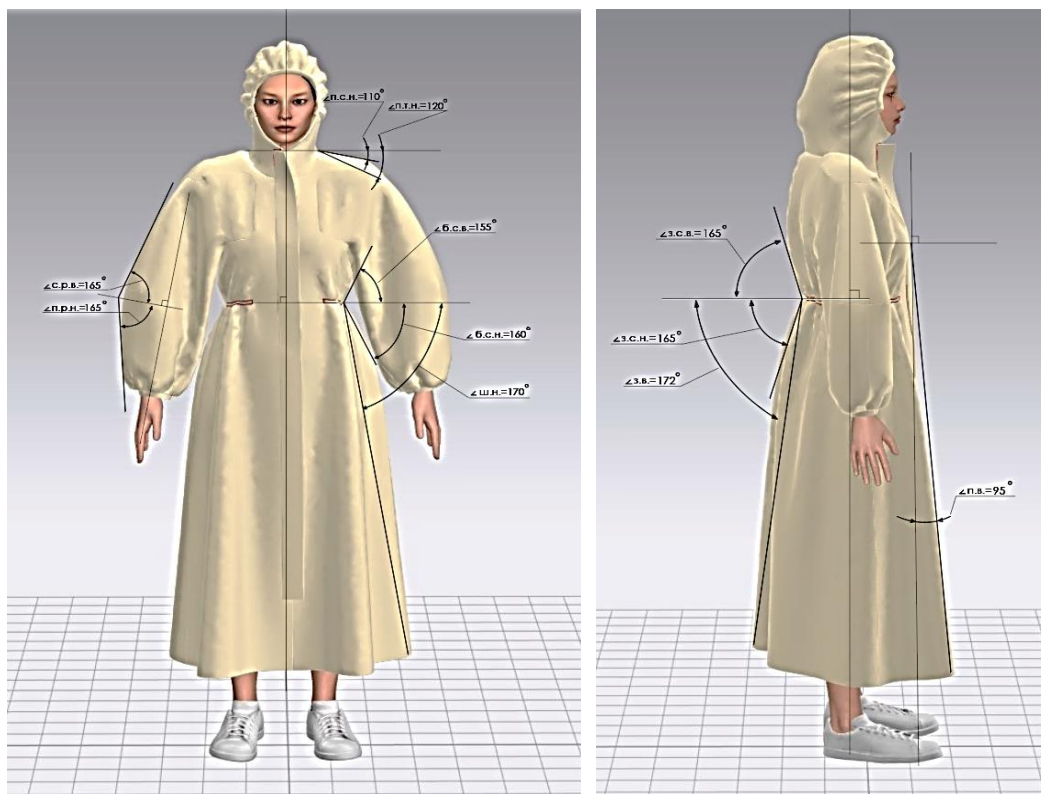


Рис. 7

При повторном анализе конструктивных параметров МОВС2 и сравнении их со значениями конструктивных параметров РОО выявлены незначительные отклонения по большинству измерений, за исключением конструктивных параметров: \angle п. с. н.

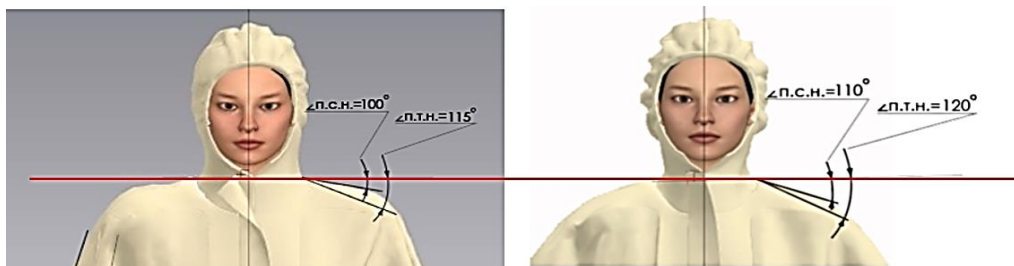


Рис. 8

Данные сопоставления конструктивных параметров всех образцов представлены в табл. 1. Путем сравнения величин углов доказана возможность количественного сравнения виртуальной модели одежды с реальным образцом.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика сравнения моделей одежды, выполненных в виртуальной среде, с реальными образцами одежды позволяет количественно оценивать соответствие моделей друг другу. В дальнейших исследованиях следует провести экспертную оценку значимости предлагаемых параметров и определить их весомость, что позволит предложить универсальную методику количественной оценки, пригодную для сравнения моделей одежды разных силуэтных форм и ассортимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев В.Е., Жукова И.В., Сахарова Н.А. Разработка конструктивно-антропометрического обеспечения процесса конструирования одежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 43...148. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_143. – EDN LLFGIM.];
2. Petrosova I.A. Designing Three-Dimensional Man Figure Mannequins // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 4, Chapter 3. Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2020.

и \angle п.т.н. Значительные отклонения этих параметров связаны со свойствами плечевой накладки. Для достижения максимального сходства произведена корректировка плечевой накладки, а именно изменена толщина деталей (рис. 8).

- P. 042075. – DOI 10.1088/1757-899X/753/4/042075. – EDN JCLTBF.

3. Залялютдинова Г.Р., Хамматова В.В. Информационные 3D-технологии в проектировании изделий текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 148...153. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_148. – EDN QGGSOE.

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621608 РФ. Алгоритмизация выбора и интерпретации творческих источников для художественного проектирования изделий легкой промышленности. – EDN VCLUFO.

5. Андреева Е.Г., Петросова И.А. Методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде. М.: МГУДТ, 2015. 131 с. – ISBN 978-5-87055-224-8. – EDN TVBLTN.

6. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Ду Ц.С. Разработка метода оценки конструктивных решений одежды с помощью трехмерного сканирования // Дизайн и технологии. 2014. № 39(81). С. 17...27. – EDN TCTKTZ.

7. Сидя В., Кузьмичев В.Е. Новый алгоритм идентификации дефектов на виртуальных двойниках одежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 159...168. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_159. – EDN KELUWN.

8. Груздева И.А., Сахарова Н.А., Белоус В.В. Использование нейросетей для проектирования одежды // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОЙСК-2023). Иваново: ИВГПИУ, 2023. С. 593...595. – EDN LDXYYX.

REFERENCES

1. Kuz'michev V.E., Zhukova I.V., Sakharova N.A. Providing of pattern and anthropometric oriented database in terms of clothes design // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi

Promyshlennosti. 2022. № 6(402). S. 143...148. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_143. – EDN LLFGIM.

2. *Petrosova I.A.* Designing Three-Dimensional Man Figure Mannequins // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 4, Chapter 3. Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 042075. – DOI 10.1088/1757-899X/753/4/042075. – EDN JCLTBF.

3. *Zalyalyutdinova G.R., Hammatova V.V.* 3D information technologies in the design of products of the textile and light industries // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 6(402). S. 148...153. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_148. – EDN QGGSOE.

4. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2021621608 RF. Algoritmizatsiya vybora i interpretacii tvorcheskikh istochnikov dlya hudozhestvennogo proektirovaniya izdelij lyogkoj promyshlennosti. – EDN VCLUFO.

5. *Andreeva E.G., Petrosova I.A.* Metodologiya ocenki kachestva proektnykh reshenij odezhdy v virtual'noj trekhmernoj srede. Moscow: MSUDT, 2015. 131 s. – ISBN 978-5-87055-224-8. – EDN TVBLTN.

6. *Petrosova I.A., Andreeva E.G., Du C.S.* Razrabotka metoda ocenki konstruktivnykh reshenij odezhdy s pomoshch'yu tryohmernogo skanirovaniya // Dizajn i tekhnologii. 2014. № 39(81). S. 17...27. – EDN TCTKTZ.

7. *Sida V., Kuz'michev V.E.* New algorithm of defect identification on virtual clothing twins // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). S. 159...168. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_159. – EDN KELUWN.

8. *Gruzdeva I.A., Saharova N.A., Belous V.B.* Ispol'zovanie nejrosetej dlya proektirovaniya odezhdy // Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK-2023). Ivanovo, 2023. S. 593...595. – EDN LDXYYX.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 17.04.23.

УДК 687.03:677.11+677.027.625.11
DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_138

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ СТАЧИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И БИООБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ НА ЖЕСТКОСТЬ ЛЬНЯНОЙ ОДЕЖДЫ*

THE IMPACT OF THE SEQUENCE OF PARTS STITCHING AND BIO-PROCESSING OF SEMI-FINISHED PRODUCTS ON THE STIFFNESS OF LINEN GARMENT

Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА^{1,2}, Н.Л. КОРНИЛОВА¹, С.А. КОКШАРОВ³, О.В. РАДЧЕНКО^{1,4}, Е.В. ЗОБНИНА⁴
T.S. SOLODUSHENKOVA^{1,2}, N.L. KORNILOVA¹, S.A. KOKSHAROV³, O.V. RADCHENKO^{1,4}, E.V. ZOBNINA⁴

¹Ивановский государственный политехнический университет,
²Уфимский государственный нефтяной технический университет,
³Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,
⁴ООО «Лидертекс», г. Иваново)

¹Ivanovo State Polytechnic University,
²Ufa State Petroleum Technical University,
³G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,
⁴LLC "Lidertex", Ivanovo)

E-mail: nkorn@mail.ru

Работа продолжает цикл исследований, направленных на расширение использования льняных тканей в индустрии моды. Разрабатываемый метод градиентного мягчения материалов базируется на применении специальных

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (гос. контракт №3480ГС1/57516) с использованием оборудования ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

целлюлазных препаратов для обработки деталей швейного изделия. Объемная форма изделия зависит от пластичности мест ниточного соединения деталей. В связи с этим большой интерес представляет изучение деформационного поведения умягченных материалов в швах различной конструкции. Для группы плательных тканей определены значения приведенного показателя жесткости шва. Величина показателя использована для подразделения швов на три группы: каркасные, мягкие и средней жесткости. Применение биообработки позволяет снизить жесткость швов относительно базового уровня для неумягченных материалов. Наибольшее снижение показателя (в 8,2–12,8 раза) достигнуто при биообработке узлов со швами средней жесткости. Наименьшая эффективность (в 4,6–5,9 раза) получена для группы каркасных швов. Стачивание деталей после биообработки уменьшает эффективность мягчения шва в 1,2–2,6 раза. Результаты позволяют оптимизировать свойства узлов в конструкции швейного изделия с учетом создаваемой силуэтной формы.

The work continues a cycle of research aimed at expanding the use of linen fabrics in the fashion industry. The developed method of gradient softening of materials is based on the use of special cellulases for the processing of sewing parts. The volumetric shape of the product depends on the plasticity of the thread seams. In this regard, the study of the deformation behavior of softened materials in the seams of various construction is of great interest. The values of the relative suture stiffness were determined for a group of dresses fabrics. The value of the indicator is used to divide the seams into three groups: frame, soft and medium stiffness. The use of bio-treatment allows to reduce the stiffness of joints relative to the base level for non-softened materials. The greatest decrease in the indicator by 8,2–12,8 times was achieved during the bio-treatment of nodes with medium-stiffness seams. The lowest efficiency (4,6–5,9 times) was obtained for a group of frame seams. The parts stitching after bio-treatment reduces the effectiveness of softening the seam by 1,2–2,6 times. The results allow us to optimize the properties of the nodes in the design of the garment, taking into account the projected silhouette shape.

Ключевые слова: льняная одежда, биомягчение полуфабрикатов, конструкция шва, жесткость швов при изгибе.

Keywords: linen clothing, bio-softening of semi-finished products, seam construction, bending stiffness of the seams.

Геометрия трехмерной формы одежды определяется конструктивными линиями членения и применяемыми способами соединения деталей [1...3]. Ниточные швы существенно изменяют пластические свойства полотна и исполняют роль «ребер жесткости» при получении заданного силуэта. Многочисленные предыдущие исследования демонстрируют повышенный интерес к изучению возможностей корректировки формы при использовании швов с рациональным уровнем жесткости на изгиб.

Показано, что жесткость шва зависит от разных факторов, в том числе от типа ткани, ее толщины и растяжимости, конструкции шва, его расположения и направления, величины припуска на шов, а также от типа и натяжения швейной нити, толщины иглы и плотности стежка [4...10]. Вид финишной отделки, в частности нанесение силиконового мягчителя [11], также влияет на свойства шва. Последнее обстоятельство имеет особое значение при работе с льняными полотнами, способность

которых к сопротивлению деформациям изгиба и сдвига существенно превышает уровень жесткости, например, тканей из шерстяных и/или химических волокон [12]. Закономерно, что различие в жесткости швов многократно превышает величину отклонений между параметрами сравниваемых тканей.

Большие перспективы для расширения ассортимента швейной продукции из льняных тканей открывает новый метод ферментативного умягчения, предусматривающий локализованное воздействие целлюлаз на сетку микрофибрилл целлюлозы в периферийном слое первичной клеточной стенки льняного волокна [13]. Метод предполагает подбор ферментных препаратов с учетом прочности сорбционного связывания целлюлаз на поверхности субстрата и размеров их глобулы, ограничивающих проникновение биокатализатора вглубь клеточной стенки в условиях жидкостной обработки, обеспечивающей набухание волокна, либо при маломодульном нанесении технологического раствора [14, 15].

На предыдущих этапах показано, что новый метод применим для реализации технологии градиентного мягчения льняных полуфабрикатов в процессе пошива изделия [16]. Выявлены зависимости для регулируемого изменения параметров жесткости и формуемости деталей кроя за счет варьирования уровня каталитической активности целлюлазы. Для управления деформационными свойствами узлов швейного изделия большой интерес представляет анализ эффективности ферментативного умягчения мест соединения деталей швами разных конструкций.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении закономерностей изменения жесткости на изгиб мест ниточного соединения при варьировании последовательно операций стачивания деталей и биомодификации по жидкостной технологии.

Материалы и методы

Использованы три вида легких льняных тканей полотняного переплетения. Характеристики тканей приведены в табл. 1.

Все ткани не подвергались мягчению в текстильном производстве, но различались

режимами подготовки. Образец 1 прошел циклы щелочной варки ровницы и гипохлоритно-пероксидного беления полотна. Образец 2 получен с использованием окислительной варки ровницы и крашения полубелой пряжи. Подготовка образца 3 включала операции окислительной варки ровницы, сокращенного беления ткани, а также крашения полотна в светлые тона.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Поверхностная плотность P, г/м ²	Число нитей на 10 см		Толщина пряжи, текс	
		основа	уток	основа	уток
1	164	160	190	56	50
2	228	120	150	69	56
3	124	198	196	50	50

Характеристики используемого целлюлазного препарата и условия проведения биообработки льняных материалов описаны в предыдущем сообщении [16]. Для всех экспериментов использовали растворы с постоянным уровнем активности целлюлазы $A = 30$ ед./мл.

Биообработке подвергали образцы тканей с последующим проведением операций стачивания, а также образцы с предварительно выполненными швами.

Ниточное соединение образцов проводили на универсальной швейной машине челночного стежка DDL 8700 JUKI. Все швы выполнены одними нитками (хлопколавсановые №44ЛХ), одним типом стежка (стачивающий челночный) с одинаковой частотой (4 стежка в 1 см).

Пробы для швов выкраивали под разным углом к долевному направлению ткани:

- вдоль нитей основы (продольный шов);
- 90° к нитям основы (поперечный шов);
- 45° к нитям основы (диагональный шов).

Для достоверной оценки влияния швов на увеличение жесткости рассмотрены как одиночные швы, так и сложное соединение, включающее два шва.

Показатель жесткости швов измерен по аналогии с испытаниями образцов исследуемых льняных тканей консольным методом на приборе ПТ-2 в соответствии с ГОСТ 10550-93. Корректность условий проведения измерений вытекает из общеупотребительной практики применения консольного

метода для оценки жесткости многослойных пакетов, в которых основная ткань дублирована прокладочными материалами.

Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены результаты анализа жесткости тканей в исходном состоянии EI_0 и после их ферментативного умягчения EI_s .

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Направление	Жесткость ткани, мН·см ²			δEI_s , %
		EI_0	EI_s	EI_s^*	
1	основа	40,2	25,4	26,5	-4,2
	уток	25,8	17,4	17,0	2,4
	диагональ	30,9	21,4	20,3	-5,4
2	основа	52,7	36,4	34,7	4,9
	уток	36,8	25,6	24,2	5,8
	диагональ	22,2	16,7	14,6	15,8
3	основа	9,1	5,7	6,0	-5,0
	уток	18,1	12,2	11,9	2,5
	диагональ	10,1	5,9	6,6	-10,6

Там же приведены расчетные значения жесткости умягченных образцов EI_s^* , которые определены с применением предложенной в работе [16] модели для описания эффективности биомодификации льняных тканей при варьировании каталитической активности целлюлазы A (ед./мл):

$$EI_s^* = EI_0(1 - 0,0059A - 0,0002A^2). \quad (1)$$

Для сопоставления экспериментальных и расчетных значений определяли величину относительного отклонения δEI_s :

$$\delta EI_s = \frac{EI_s - EI_s^*}{EI_s^*} \times 100\%. \quad (2)$$

Совокупность полученных результатов подтверждает хорошую прогностическую способность корреляционного соотношения (1). Для базовых направлений по нитям основы и утка величина δEI_s находится в интервале от -5,0% до +5,8%. Испытание образцов, выкроенных в диагональном направлении, дает более существенные отклонения между значениями EI_s^* и EI_s . По-видимому, это связано с более сложным механизмом диагональной деформации пробы полотняного переплетения, включающей изменение взаимной ориентации нитей утка и основы. Тем не менее эти данные могут быть использованы для сопоставления с показателями образцов, соединенных диагональными швами. Наличие шва стабилизирует перпендикулярность переплетения нитей.

Полный объем экспериментальных исследований включает анализ 26 конструкций соединительных и краевых ниточных швов. При выборе конструкций швов и технологических припусков на обработку учитывали особенности поузловой обработки легкой одежды, осыпаемость тканей (открытые срезы обметывали машинным цепным стежком), покрой и силуэт одежды, долевое направление в деталях кроя одежды.

В табл. 3 представлены результаты измерений жесткости швов ($EI_{ш}$, мН·см²), выполненных для образцов исходных неумягченных тканей с использованием восьми наиболее часто употребляемых конструкций ниточного соединения.

Т а б л и ц а 3

№ шва	Конструкция шва	$EI_{ш}$, мН·см ² для тканей			EI^* (отн.ед.) для тканей			Группа швов
		1	2	3	1	2	3	
1	Обтачной продольный	1854	2350	309	46,1	44,6	34,0	I – каркасные $EI^* > 30$
2	Обтачной с отделочной строчкой поперечный	1257	1905	898	48,7	51,8	49,6	
3	Настрочной поперечный	1128	1365	618	43,7	37,1	34,1	
4	Стачной вразутюжку продольный	858	1253	188	21,3	23,8	20,7	II – средней жесткости $EI^* = 20 \dots 30$
5	Стачной вразутюжку продольный	1204	1553	225	29,9	29,5	24,7	
6	Обтачной диагональный	624	642	212	20,2	28,9	21,0	
7	Стачной вразутюжку диагональный	225	346	165	7,3	15,6	16,3	III – мягкие $EI^* < 20$
8	Вподгибку диагональный	433	412	199	14,0	18,6	19,7	

Полученные данные демонстрируют многократное увеличение уровня жесткости в зоне ниточного соединения, характерное для всех разновидностей шва. Из соотношения значений жесткости шва и жесткости ткани по направлению шва рассчитана величина относительного показателя приведенной жесткости шва EI^* . Из расчетных данных (см. табл. 3) следует, что швы различной конструкции по-разному влияют на соотношение жесткости и величина показателя EI^* варьирует в широком диапазоне: от 7,3 до 51,8 отн. ед.

Известно, что на жесткость шва, кроме жесткости ткани, влияют также толщина ткани и число ее слоев в шве, число строчек, тип и частота стежка, количество и вид нитей в стежке. Поскольку все швы были выполнены одними нитками, одним типом стежка с одинаковой частотой, основными факторами, влияющими на жесткость шва в данном эксперименте, являются число слоев ткани в шве (N_T) и количество строчек (N_C). По всем 26 конструкциям швов получено уравнение регрессии, описывающее зависимость приведенной жесткости EI^* от указанных характеристик шва и величины поверхностной плотности ткани (P , г/м²):

$$EI^* = 0,088P + 2,73N_T + 8,4N_C; R^2 = 0,9025. (3)$$

Высокий уровень коэффициента детерминации R^2 для совокупности эмпирических данных свидетельствует о достоверности описания нарастающей жесткости в зоне шва под влиянием исследуемых факторов.

По величине приведенной жесткости швы подразделены на 3 группы:

I – каркасные (приведенная жесткость составляет более 30 отн. ед. для всех тканей);

III – мягкие (увеличение жесткости не превышает 20 раз для всех тканей);

II – средней жесткости (промежуточный диапазон EI^*).

К группе I относятся, в частности, настрочной и обтачной швы, расположенные вдоль нити основы или утка (см. табл. 3). Стачные диагональные швы попадают в группу III.

При подготовке полуфабрикатов и окончательной сборке готового изделия

возможно комбинированное использование вариантов, предусматривающих проведение биообработки индивидуальных деталей кроя или выполнение перед мягчением комплекса операций обработки внутренних срезов и стачивания узлов. Кроме того, с учетом свойств материала часть деталей может использоваться на стадии монтажа изделия без дополнительного мягчения. В связи с этим проведено сопоставление изменения жесткости швов для двух серий образцов с варьируемой последовательностью операций мягчения и стачивания материала. В табл. 4 продемонстрировано влияние режимов умягчающей обработки на жесткость швов (режим А – стачивание до мягчения; режим Б – стачивание после мягчения). Сохранены принятые в табл. 3 номера швов и их принадлежность к соответствующей группе.

Таблица 4

Группа швов	№ шва	Режим операций	$EI_{ш}$, мН·см ² для тканей		
			1	2	3
I	2	А	261	356	153
		Б	391	596	183
	3	А	235	297	119
		Б	276	354	168
II	4	А	88	98	19
		Б	234	205	26
	6	А	62	77	26
		Б	146	168	51
III	7	А	46	52	19
		Б	86	82	26
	8	А	65	96	34
		Б	155	196	61

В сопоставлении с уровнем жесткости швов из неумягченных тканей (см. табл. 3) наибольшие изменения в абсолютных значениях $EI_{ш}$ наблюдаются при мягчении образцов, предварительно соединенных швами гр. I (каркасные). Вместе с тем в относительном выражении эта группа швов показала наименьшую эффективность снижения жесткости: 4,6–5,9 раза. Для группы мягких швов (гр. III) при минимальных изменениях абсолютных значений $EI_{ш}$ относительное снижение жесткости составляет 4,9–8,7 раза. Максимум относительных изменений показателя (в 8,2–12,8 раза) дает биообработка узлов со швами средней жесткости.

Смена последовательности проведения операций на режим Б в целом уменьшает

амплитуду изменений жесткости шва в 1,4–2,6 раза. Наиболее резко это проявляется для мягких швов (гр. III): относительное снижение показателя $EI_{ш}$ сокращается до 2,1–4,2 раза. В группе каркасных швов (гр. I) колебания абсолютных значений $EI_{ш}$ наименее существенны, но в относительном выражении к уровню базовых образцов жесткость шва понижается в 3,2–4,9 раза. Стачивание умягченных образцов швами средней жесткости (гр. II) обеспечивает снижение $EI_{ш}$ в 4,1–7,2 раза.

Т а б л и ц а 5

Группа швов	№ шва	Режим операций	EI^* (отн. ед.) для тканей		
			1	2	3
I	2	A	15,0	13,9	12,5
		B	22,5	23,3	15,0
	3	A	13,5	11,6	9,8
		B	15,9	13,8	13,8
II	4	A	3,5	2,7	3,3
		B	9,2	5,6	4,6
	6	A	2,9	4,6	4,4
		B	6,8	10,1	8,6
III	7	A	2,1	3,1	3,2
		B	4,0	4,9	4,4
	8	A	3,0	5,7	5,8
		B	7,2	11,7	10,3

В практическом аспекте несомненный интерес представляют данные о влиянии условий умягчающей отделки на величину приведенной жесткости формируемых швов EI^* (табл. 5).

Результаты свидетельствуют о широких технологических возможностях регулируемого уменьшения различий жесткости мест ниточного соединения и прилегающих участков ткани. Исходные гигантские перепады жесткости удается сократить с применением модификации по режиму А в 3,2–8,6 раза, что очень важно, например, для создания изделий мягкопластичной объемной формы. В то же время стачивание умягченных материалов в меньшей степени снижает величину приведенной жесткости шва (в 2,2–4,5 раза), обеспечивая тем самым возможность выполнения швами их формообразующих функций.

Используя зависимости (1) и (3), получаем соотношение для прогнозирования с достаточной для практики точностью величины $EI_{ш}$ в умягченных материалах:

$$EI_{ш} = EI_0(1 - 0,0059A - 0,0002A^2) \frac{0,088P + 2,73N_T + 8,4N_C}{k} \quad (4)$$

Уравнение (4) применимо и для проектирования свойств ниточных соединений из исходных материалов. В этом случае значение показателя активности целлюлаз $A = 0$ и коэффициент, понижающий жесткость шва, $k = 1$. Из совокупности полученных эмпирических данных следует, что величина понижающего коэффициента k имеет следующие значения для соответствующей группы шва и используемой последовательности операций (режима мягчения):

- режим А: гр. I – 3,6±0,4; гр. II – 6,8±2; гр. III – 4,2±0,9;
- режим Б: гр. I – 2,7±0,5; гр. II – 3,2±1,3; гр. III – 2,4±1,1.

С учетом показанного в работе [16] подразделения условных зон в конструкции женского платья для проектирования уровня жесткости зоны $EI_{зоны}$ и выбора предпочтительных режимов биомодификации полуфабрикатов можно использовать следующее уравнение:

$$EI_{зоны} = \frac{EI_m S_m + \sum EI_{ш} S_{ш}}{100} \quad (5)$$

где EI_m – средняя жесткость ткани в направлении основы и утка, $\text{мН} \cdot \text{см}^2$; S_m – доля площади участка без швов, %; $EI_{ш}$ – жесткость участка со швом определенной конструкции, $\text{мН} \cdot \text{см}^2$; $S_{ш}$ – доля площади участка со швом данной конструкции, %; Σ – сумма всех швов на участке.

В Ы В О Д Ы

Получено экспериментальное обоснование новых возможностей для расширения модельного ряда одежды, выпускаемой из базового ассортимента тканей, за счет реализации регулируемых эффектов биомодификации узлов и деталей изделия.

С применением дополнительного числа льняных тканей подтверждена работоспособность модели, описывающей снижение их жесткости при варьировании активности целлюлазы в растворе для биомягчения.

По результатам анализа устойчивости к изгибу 26 конструкций соединительных и краевых ниточных швов получено соотношение для проектирования показателя приведенной жесткости шва с учетом поверхностной плотности ткани, числа ее слоев в шве и количества строчек. По величине показателя приведенной жесткости проведено подразделение швов на 3 группы: каркасные, мягкие и средней жесткости.

Технологический режим, включающий стачивание деталей и биообработку полуфабриката, обеспечивает умягчение швов в 1,2...2,6 раза лучше, чем выполнение швов после мягчения деталей кроя. Предложены соотношения для расчета жесткости шва исходя из характеристик исходной ткани, конструкции шва и порядка выполнения операций, а также для расчета жесткости зоны швейного изделия с учетом совокупности конструктивных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология швейных изделий / под ред. Е.Х. Меликова, Е.Г. Андреевой. М.: КолосС, 2013. 519 с.
2. Ukey P., Kadole P.V. Effect of Seam Formation on Draping Quality of the Stitched Fabric // Adv. Res. Text. Eng. 2016, 1, 2. 1011.
3. Avadanei M., Vatra A.-D., Rosca M. The influence of body biomechanics on the geometry of clothing patterns // Communications in development and assembling of textile products. 2023, 4, 2. P. 231...241. – <https://doi.org/10.25367/cdatp.2023.4.p231-241>.
4. Choudhary A.K., Goel A. Effect of some fabric and sewing conditions on apparel seam characteristics // Journal of Textiles. – 2013, 4. P. 1...7. – <https://doi.org/10.1177/155892501501000201>.
5. Singothu J., Amsamani S. Influence of fabric type on seam performance – A review // IJITEE. 2021, 10, 5. P. 27...29. – <https://doi.org/10.35940/ijitee.E8618.0210421>.
6. Hu J., Chung S. Bending behavior of woven fabrics with vertical seams // Text. Res. J. 2000, 70, 2. P. 148...153. – <https://doi.org/10.1177/004051750007000210>.
7. Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Волкова С.В. и др. Исследование влияния ниточных соединений на показатели формоустойчивости пакетов одежды // Изв. вузов. Технология текст. промышленности. 2014. № 5. С. 8...12.

8. Kara S. Comparison of sewn fabric bending rigidities obtained by heart loop method: Effects of different stitching types and seam directions // Ind. Textila. 2020, 71, 2. P. 105...111. – <https://doi.org/10.35530/IT.071.02.1647>.

9. Megeid Z.A., Ezzat M.M., Elzaki G.M. Studying the bending stiffness of polyester/linen fabric seams with different structures // Int. J. Chemtech Res. 2016, 9, 4. P. 1...6.

10. Bhavesh R., Madhuri K., Sujit G. et al. Effect of sewing parameters on seam strength and seam efficiency // TTEFT. 2018, 4, 1. P. 398...401. – <https://doi.org/10.31031/TTEFT.2018.04.000577>.

11. Bharani M., Shiyamaladevi P.S.S., Gowda M.R.V. Characterization of seam strength and seam slippage on cotton fabric with woven structures and finish // RJES. 2012, 1, 2. P. 41...50.

12. Замышляева В.В., Смирнова Н.А. Определение влияния швов на характеристики изгиба и сдвига костюмных тканей // Изв. вузов. Технология текст. промышленности. 2016. № 1. С. 39...42.

13. Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al. Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // Text. Res. J. 2022, 92, 21-22. P. 4208...4229. – <http://dx.doi.org/10.1177/00405175221101018>.

14. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. и др. Ферментативная умягчающая обработка льняных изделий: воздействие целлюлаз в структуре набухшего волокна // Изв. вузов. Технология текст. промышленности. 2022. № 5. С. 126...134. – http://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126.

15. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. и др. Подбор целлюлаз для умягчающей обработки льняных изделий пропиткой растворами биопрепаратов // Изв. вузов. Технология текст. промышленности. 2022. № 6. С. 98...105. – http://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98

16. Алеева С.В., Радченко О.В., Кокшаров С.А. и др. Применение ферментативного мягчения в производстве льняных изделий платьево-блузочного ассортимента // Изв. вузов. Технология текст. промышленности. 2023. № 5. С. 155...163. – http://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_5_155.

REFERENCES

1. Technology of sewing products / Edited by E.Kh. Melikov and E. G. Andreeva. M.: KolosS, 2013. 519 p.
2. Ukey P., Kadole P.V. Effect of Seam Formation on Draping Quality of the Stitched Fabric // Adv. Res. Text. Eng. 2016, 1, 2. 1011.
3. Avadanei M., Vatra A.-D., Rosca M. The influence of body biomechanics on the geometry of clothing patterns // Communications in development and assembling of textile products. 2023, 4, 2. P. 231...241. – <https://doi.org/10.25367/cdatp.2023.4.p.231...241>.
4. Choudhary A.K., Goel A. Effect of some fabric and sewing conditions on apparel seam characteristics //

Journal of Textiles. 2013, 4. P. 1...7. – <https://doi.org/10.1177/155892501501000201>.

5. *Singothu J., Amsamani S.* Influence of fabric type on seam performance – A review // *IJITEE*. – 2021, 10, 5. P. 27...29. – <https://doi.org/10.35940/ijitee.E8618.0210421>

6. *Hu J., Chung S.* Bending behavior of woven fabrics with vertical seams // *Text. Res. J.* 2000, 70, 2. P. 148...153. – <https://doi.org/10.1177/004051750007000210>.

7. *Zamyshlyayeva V.V., Smirnova N.A., Volkova S.V. et al.* Research of thread connections on indicators of shape stability package clothes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2014, 353, 5. P. 8...12.

8. *Kara S.* Comparison of sewn fabric bending rigidities obtained by heart loop method: Effects of different stitching types and seam directions // *Ind. Textila*. 2020, 71, 2. P. 105...111. – <https://doi.org/10.35530/IT.071.02.1647>.

9. *Megeid Z.A., Ezzat M.M., Elzaki G.M.* Studying the bending stiffness of polyester/linen fabric seams with different structures // *Int. J. Chemtech Res.* 2016, 9, 4. P. 1...6.

10. *Bhavesh R., Madhuri K., Sujit G. et al.* Effect of sewing parameters on seam strength and seam efficiency // *TTEFT*. 2018, 4, 1. P. 398...401. – <https://doi.org/10.31031/TTEFT.2018.04.000577>

11. *Bharani M., Shiyamaladevi P.S.S., Gowda M.R.V.* Characterization of seam strength and seam slippage on cotton fabric with woven structures and finish // *RJES*. 2012, 1, 2. P. 41...50.

12. *Zamyshlyayeva V.V., Smirnova N.A.* Definition of the influence of the seams on characteristics of bending and shear of costume fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2016, 361, 1. P. 39...42.

13. *Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al.* Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // *Text. Res. J* 2022, 92, 21-22. P. 4208...4229. – <http://dx.doi.org/10.1177/00405175221101018>.

14. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. et al.* Enzymative softening treatment of linen products: The impact of cellulases in the structure of a sweet fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 401, 5. P. 126...134. – http://dx.doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126

15. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. et al.* Selection of cellulases for impregnation of linen textile to perform the softening treatment // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 402, 6. P. 98...105. – http://dx.doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98

16. *Aleeva S.V., Radchenko O.V., Koksharov S.A. et al.* The use of enzymatic softening in the production of linen dresses and blouses // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023, 407, 5. P. 155...163. – http://dx.doi.org/10.47367/0021-3497_2023_5_155.

Рекомендована НОЦ «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности» ИВГПУ. Поступила 26.09.23.

УДК 572.087

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_145

АНТРОПОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОДЕЖНОЙ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН*

ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE YOUTH POPULATION GROUP OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

О.Н. БУДЕЕВА, З.Р. ГРИГОРЬЕВА, Э.А. ХАММАТОВА, А.М. РАХМАТУЛЛИН

O.N. BUDEEVA, Z.R. GRIGORIEVA, E.A. HAMMATOVA, A.M. RAKHMATULLIN

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(Ufa State Petroleum Technical University)

E-mail: olga.budeeva@yandex.ru, zarema_grigoreva@inbox.ru, elm.kzn@mail.ru, r-airat@mail.ru

Несоответствие размерных признаков современного населения Российской Федерации действующим нормативным документам дает основание для разработки новой размерной типологии. Решение этой задачи достаточно трудоемко и масштабно. Поэтому принято решение начать работу

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития университета на период 2021-2030 гг. «Приоритет 2030».

по антропометрическому исследованию населения одной из республик РФ – Башкортостана. В статье описываются результаты анализа измерений молодежной группы и характеристика особенностей телосложения современного молодого поколения Республики Башкортостан.

The disproportion of the modern population of the Russian Federation to the current normative documents on standard dimensional features gives grounds for the development of a new dimensional typology. Solving this problem is quite time-consuming and large-scale. Therefore, it was decided to start working on an anthropometric study of the population of one of the the Russian Federation republics – Bashkortostan. The article describes the results of the measurements analysis of the youth group and the characteristics of the body composition of the modern young generation of the Bashkortostan Republic.

Ключевые слова: размерные признаки, размерная типология, особенности телосложения, осанка, пропорции фигуры, конституция человека.

Keywords: dimensional features, dimensional typology, physique features, posture, figure proportions, human constitution.

На сегодняшний день развитие легкой промышленности требует решения множества проблем. Одна из них связана с несоответствием размерных признаков населения России действующим государственным и отраслевым стандартам, разработанным 50 лет назад (1968–1972 гг.). Современное поколение отличается от своих предшественников, что является следствием многочисленных изменений в жизненном стиле и питании человека.

Для разработки новой размерной типологии появились новые технологические возможности, позволяющие исключить ручной обмер большого количества населения и упростить расчет типовых параметров [1]. 3D-сканеры – это устройства, фиксирующие форму и размер физического тела в трех измерениях. В последующем с аватара считывается информация по размерным признакам путем измерения в ручном режиме или с помощью программного обеспечения. Благодаря 3D-сканированию стало возможным получать более подробные замеры, включая мерки, которые было трудно измерить вручную, такие как глубина и угол наклона.

Зарубежные страны выполняют обновление антропометрических данных каждые

15 лет и проводят всевозможные дополнительные исследования. В прошлом десятилетии в Бразилии в рамках проекта SizeBR провели сравнительный анализ формы тела бразильских женщин [2] по отношению к данным американского и корейского женского населения. Всего было отобрано 4133 женщины из разных регионов: северного, северо-восточного, центрально-западного, южного и юго-восточного. Чтобы проверить влияние времени на трансформацию тела, статистический анализ проводился с учетом разницы в возрасте. Антропометрические данные всех женщин получены с помощью сканера TC2.

В результате исследований по проекту SizeBR выявлено, что форма тела женщин различается в зависимости от этнической принадлежности и географического положения места проживания. Эта вариативность, по мнению авторов статьи [2], делает практически невозможной всемирную стандартизацию одежды.

Один из федеральных университетов Нигерии провел исследование [3] случайно отобранных 500 студентов в возрасте от 18 до 29 лет (средний возраст – 21,7 года). Исследование представляет собой попытку предоставить данные о размерах рук, ног и ушей для совершенствования производства

перчаток, ручек, обуви, размеров педалей, наушников и других сопутствующих товаров. Сравнение антропометрических данных юношей и девушек проводилось с помощью 2-хвостового Т-теста с парными выборками с использованием статистического пакета SPSS 16.0.

По результатам исследований университета Нигерии выявлено, что существует необходимость в измерениях не только основных размерных признаков, таких как обхват груди III, обхват талии, обхват бедер и т.д., но и таких частей тела, как руки, ноги и уши, поскольку различия в этих размерах в зависимости от пола и национальности могут повлиять на дизайн и конструкцию проектируемых изделий.

В Корею учеными Minji Yu и Dong- Eun Kim [4] в рамках проекта по изготовлению форменных платьев для женщин среднего возраста в нормальном диапазоне размеров тела (6-й размер) проведено исследование особенностей их телосложения. Для этого были исключены женщины с недостаточным весом ($ИМТ < 18,5$), избыточным весом ($25 \leq ИМТ < 30$) или с ожирением ($30 \leq ИМТ$) на основе международной классификации Всемирной организации здравоохранения. В конечном итоге использованы данные 302 женщин ($18,5 \leq ИМТ < 25$), которые были разделены на четыре возрастные группы (40–44, 45–49, 50–54 и 55–59 лет). При проведении сравнительного анализа женщин различных возрастных групп и четырех типов телосложения выявлены значительные различия размерных признаков между группами ($\chi^2 = 10,460$, $p < 0,05$). Авторы статьи [4] считают, что полученные результаты будут использованы для улучшения посадки одежды на фигуре женщины.

В рамках программы «Приоритет 2030» кафедрой технологии и конструирования одежды УГНТУ была поставлена цель по разработке новой размерной типологии населения – на первоначальном этапе по Республике Башкортостан. Размерная типология может быть построена лишь при условии получения детальной характеристики морфологических типов, встречающихся среди населения, т. е. должны быть

известны величины антропометрических признаков, характеризующих эти типы, пределы изменчивости (вариабельности) признаков как внутри группы, так и среди различных групп населения, а также соотношения величин различных измерений тела человека. Выборка из генеральной совокупности будет считаться репрезентативной, если определенные типы людей будут встречаться в ней с той же частотой, что и во всем населении Республики Башкортостан. На основании статистических данных всего населения республики определены типы людей для планирования выборки.

Материалы и методы исследования

На первом этапе проведены антропометрические исследования в молодежной группе, где приняли участие 229 человек. Возраст молодых людей и девушек варьировался от 18 до 29 лет. В выборку респондентов вошли различные группы по месту жительства (городские и сельские), уровню образования, виду трудовой деятельности и социально-экономическому положению (табл. 1). С соблюдением методологии согласно ГОСТ 20685-2013 выполнялись измерения размерных признаков бесконтактным и контактным способами. Бесконтактный способ – сканирование фигуры человека. В дальнейшем с цифрового двойника человека в программе Texel Body Fit проводилась статистическая обработка и сравнение результатов обмеров респондентов для создания целевых групп потребителей.

Т а б л и ц а 1

Типы респондентов	Численность, чел.	Гендерный состав, чел.	
		мужчины	женщины
По возрастной группе			
Младший возраст (от 18 до 29)	229	146	83
Средний возраст (от 30 до 59)	826	382	444
Старший возраст (старше 60)	418	117	301
Долгожители (старше 80)	27	17	10
Всего	1500	662	838
По уровню образования			
Высшая квалификация	17	7	10
Высшее образование	313	125	188

Окончание табл. 1

Неполное высшее	33	15	18
Среднее профессиональное	718	318	400
Общее образование	396	186	210
Не имеющие образования	1	1	-
Не указавшие уровень образования	22	10	12
По месту проживания			
В городской местности	906	405	501
в том числе в Уфе	405	181	224
В сельской местности	594	265	329
По типу трудовых функций			
Физический труд	780	400	380
в том числе: граждане РФ	495	130	250
трудовые мигранты	285	270	130
Умственный труд	720	425	295
в том числе: чиновники и военизированные службы	195	100	95
офисные работники	345	245	100
остальные	180	80	100

По результатам измерений и расчетов определено, что:

45% мужчин в данной совокупности имеют рост от 172 до 174 см; 86,6% – от 167 см до 177 см и 99,95% – от 162 до 183 см. Минимальное и максимальное значения роста в данной совокупности будут соответственно равны 162 и 183 см;

45% женщин в данной совокупности имеют рост от 157 до 161 см; 86,6% – от 155 см до 164 см и 99,95% – от 147,8 до 183,1 см. Минимальное и максимальное значения роста в данной совокупности будут соответственно равны 148 и 183 см.

Таблица 2

Номер полнотной группы	1	2	3	4	5	6
Разница в измерениях (ОгIII - От), см	22	16	10	4	(-2)	-8
Кол-во чел. по полнотным группам, чел.	13	66	50	9	4	4

Полнотная группа в швейной промышленности определяется разностью между обхватом груди третьим и обхватом талии у мужчин, обхватом бедер у женщин. Расчеты по полнотным группам позволили определить новые дополнительные полнотные группы: в мужской – шестая (табл. 2); в женской – минус первая (табл. 3).

Таблица 3

Номер полнотной группы	-1	0	1	2	3	4	5
Разница в измерениях (Об - ОгIII), см	-6	-2	2	6	10	14	18
Кол-во чел. по полнотным группам, чел.	2	6	18	29	24	3	1

По результатам расчетов определено, что большинство фигур входят во 2 полнотную группу. Появившиеся новые полнотные группы характеризуют 3% мужских фигур с увеличенным объемом в брюшной полости и 3% женских с расширенным плечевым поясом.

Форму тела определяет конфигурация передней, задней и боковой поверхностей, степень выраженности пропорций, изгибов тела, развитие мускулатуры и жировых отложений. Наибольшую известность в прикладной антропологии получили классификации особенностей телосложения, разработанные В.В. Бунаком, В.Г. Штефко, У.Г. Шелдоном, И.Б. Галантом и др. [5]

Проведенные измерения молодежной группы по 160 размерным признакам позволили рассчитать особенности телосложения юношей и девушек (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики особенностей телосложения	Процентное соотношение величин, %	
	мужчины	женщины
Осанка: сутулая	15,6	6,2
нормальная	46,9	50,8
перегибистая	37,5	43,0
Степень изгибов позвоночника:	выпрямленный тип	35,9
	нормальный тип	50
	с сильными изгибами	14,1

Окончание табл. 4

Высота плеч: низкие	4,7	-
нормальные	31,3	7,7
высокие	64	92,3
Тип пропорций по длине туловища: брахиморфный	100	100
Тип пропорций по длине рук: долихоморфный	100	100
Тип пропорций по длине ног: брахиморфный	100	100
Тип телосложения в за- висимости от значения метрического индекса: узкосложенный	67,2	66,2
среднесложенный	26,6	15,4
широкосложенный	6,2	18,4
Тип пропорций по ширине тела: верхний	-	4,6
средний	-	10,8
нижний	-	84,6
Величина прогиба бокового контура тела по линии талии: с нечетким прогибом	-	82,8
со средним прогибом	-	17,2
с четким прогибом	-	0
Тип телосложения по форме тела в профиль со стороны переда: брюшной	-	13,8
равновесный	-	86,2
грудной	-	0
Величина развития груд- ной железы (размер): нулевой	-	66,2
первый	-	13,8
второй	-	16,9
третий	-	3,1

Результаты расчетов показали, что в молодежной группе преимущественно встречаются фигуры с нормальной осанкой и перерегибистой, со степенью изгибов позвоночника, характерной для нормального и выпрямленного типов. Высокие плечи у молодых людей формируются в результате длительного времени нахождения за партой, компьютерным столом, где плечевой пояс находится в приподнятом состоянии. Тип пропорции у населения Республики Башкортостан – брахиморфный, однако длина рук долихоморфная. По типу телосложения молодые люди преимущественно узкосложенные, но немалый процент встречаемости средне- и широкосложенных. У девушек преобладает нижний тип пропорций по ширине тела с нечетким прогибом по линии талии, форма тела равновесная.

Проведены измерения по выявлению нарушений осанки во фронтальной плоскости (сколиотическая осанка), характеризующихся смещением оси позвоночного столба вправо и влево от срединного положения [6]. Выполнены расчеты по определению разности в высоте плечевых точек правой и левой стороны тела, результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Разница измерений высоты плечевой точки правой и левой сторон тела, см	Количество наблюде- ний, %	
	мужчины	женщины
0,00 ... 0,95	51,56	80,00
1,00 ... 1,95	39,06	12,31
2,00 ... 2,95	7,81	6,15
3,00 и более	1,57	1,54

Проведенные исследования позволили определить типы фигур молодежной группы населения Республики Башкортостан, на основе которых уже можно совершенствовать процесс проектирования швейных изделий. Последующая работа в проекте по антропометрическим исследованиям возрастных групп среднего, старшего возраста и долгожителей позволит составить полную «картину» особенностей телосложения населения Республики Башкортостан и разработать новую размерную типологию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилова Н.Л., Салкузан С.В., Болсуновская М.В., Горелова А.Е., Васильев Д.А. Отдельные аспекты PLM-систем для создания цифровых фабрик в швейной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 103...106.
2. Bastos S.F. and Sabra F.G. The Body Shape of Brazil Woman, in Proc. of 5th Int. // Conf. on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 2014, pp. 155...167.
3. Olasunkanmi S.I. Anthropometric Data of Hand, Foot and Ear of University Students in Nigeria // Department of Mechanical Engineering, University of Agriculture, P.M.B. 2240, Abeokuta, Ogun State, Nigeria – Leonardo Journal of Sciences Issue 15, July-December 2009, p. 15...20. – ISSN 1583-0233.
4. Yu M., Kim DE. Body shape classification of Korean middle-aged women using 3D anthropometry // *FashText* 7, 35 (2020).
5. Шершинева Л.П., Пирязева Т.В., Ларькина Л.В. Основы прикладной антропологии и биомеханики: учеб. пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. 144 с.

6. 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. Kornilova N.L., Salkutsan S.V., Bol-sunovskaya M.V., Gorelova A.E., Vasiliev D.A. Some aspects of PLM-systems for creating digital factories in the garment industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 4 (376), pp. 103...106.

2. Bastos S.F. and Sabra F.G. The Body Shape of Brazil Woman, in Proc. of 5th Int. // Conf. on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 2014, pp. 155...167.

3. Olasunkanmi S.I. Anthropometric Data of Hand, Foot and Ear of University Students in Nigeria // Department of Mechanical Engineering, University of Agricul-

ture, P.M.B. 2240, Abeokuta, Ogun State, Nigeria – Leonardo Journal of Sciences Issue 15, July-December 2009, p. 15...20. – ISSN 1583-0233.

4. Yu M., Kim DE. Body shape classification of Korean middle-aged women using 3D anthropometry // Fash Text 7, 35 (2020).

5. Shershneva L.P., Piryazeva T.V., Larkina L.V. Fundamentals of applied anthropology and biomechanics: Textbook. M.: FORUM: INFRA-M, 2004. 144 p.

6. 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 16.11.23.

УДК 677.017:681.5

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_151

SELECTION OF IMAGE PARAMETERS FOR AUTOMATED DETERMINATION OF TWIST INDICATORS OF SELF-TWISTED YARN**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СКРУЧЕННОСТИ САМОКРУЧЕНОЙ ПРЯЖИ**

M. N. NURIEV

M.H. HYPHEB

(Azerbaijan State Economic University UNEC)

(Азербайджанский государственный экономический университет UNEC)

E-mail: mehman62@mail.ru

It is shown that the known indicators used to assess the twist are not suitable for self-twisted yarn. This is due to the peculiarities of its structure. The presence in the yarn of zones with left and right twist, separated by a section of yarn that does not have a twist, requires the use of specific indicators. The following single indicators are proposed: twist unevenness, average length of transition sections, length of twist zones and maximum length of zones with zero twist, relative difference of twists in the zones. It is shown that the existing methods for determining the indicators of yarn twist are ineffective for determining the newly proposed indicators. It is possible to increase the efficiency of their determination by using computer vision methods. The substantiation of the computer analysis of the image has been carried out. An analysis of the structure of the image processing algorithm was carried out. The requirements for the original image and methods for obtaining it are formulated. The main parameters of the original image are resolution, background width, displayed yarn length.

Показано, что известные показатели, используемые для оценки скрученности, непригодны для самокрученной пряжи. Это связано с особенностями ее строения. Наличие в пряже зон с левой и правой круткой, разделенных участком пряжи, не имеющим крутки, требует использования специфических показателей. Предложены следующие одиночные показатели: неровнота по крутке, средняя длина переходных участков, длина зон кручения и максимальная длина зон с нулевой круткой, относительная разница круток в зонах. Показано, что существующие методы определения показателей скрученности пряжи неэффективны для определения вновь предложенных показателей. Повысить эффективность их определения можно за счет ис-

пользования методов компьютерного зрения. Дано обоснование компьютерного анализа изображения. Проведен анализ структуры алгоритма обработки изображения. Сформулированы требования к исходному изображению и методам его получения. Основными параметрами исходного изображения являются разрешение, ширина фона, отображаемая длина пряжи.

Keywords: self-twisted yarn, twist zone, zero zone, twist, twist index, image analysis, computer vision.

Ключевые слова: самокрученая пряжа, зона кручения, нулевая зона, крутка, показатель скрученности, анализ изображения, компьютерное зрение.

The main indicators of yarn twist are twist, twist coefficient and twist angle [1]. These indicators do not allow one to characterize the unevenness of the twist along the length of the yarn or its distribution.

Yarn obtained by self-twisting method differs from yarn of ring and rotor spinning. This difference is characterized by the presence of multidirectional twist zones separated by untwisted sections, zero zones [2, 3]. Therefore, these indicators are not enough to describe the twisting of such a yarn. Due to the fact that the twist zones in self-twisted yarn are separated in space, the twist flow over the length of the yarn is possible only within the lengths of the respective zones. To characterize the uniformity of such yarn, the unevenness of twist in the zones along the length of the yarn is essential - unevenness in twist, which can be characterized by the coefficient of variation

$$H_k = \frac{\sigma_k}{\bar{K}}, \quad (1)$$

where \bar{K} - the average value of the twist in the sample, σ_k is the mean square deviation of the twist.

It is known that twist has a significant effect on yarn strength [4]. As the twist increases from zero to a certain value called the critical twist, the strength of the yarn increases. With a further increase in twist, the strength of the yarn decreases. The strength of the yarn in the twist zones must be ensured by the appropriate twist value. However, due to the fact that the twist changes continuously along the length of the yarn, it cannot be constant even over the

respective zone. Transitional sections are observed at the beginning and end of the twist zone. At the beginning of the zone, the twist gradually increases to the nominal value, and at the end it also gradually decreases. The increase in the length of the transition sections leads to a decrease in the strength of the yarn. Therefore, one of the additional indicators of the twist of a self-twisted yarn should be the average length of the transition sections in which the twist changes.

The twist zones in self-twisted yarns are separated by zones that do not have twist. It is known that the strength of the yarn is formed due to the friction forces that arise between the fibers due to the mutual pressure caused by the twist [4]. Under the action of a tensile load on the yarn, sliding and tearing fibers are distinguished in it. With a decrease in twist, the number of sliding fibers increases and, in fact, not a break occurs, but a pulling apart of the product, which occurs at forces much smaller than the maximum breaking load that occurs during critical twist. The presence of zero twist zones in a self-twisted yarn poses a risk of strength reduction, which can occur when the length of the zero zone approaches a quarter of the average length of the fibers used to make the yarn. To control structural disturbances of this type, it is suggested to introduce an indicator - the length of the twist zones and the maximum length of zones with zero twist.

Self-twisted yarn is formed from two strands, which, during the spinning process, must receive the same twist for equal periods of time. However, due to a malfunction in the operation of one of the twisting devices (clog-

ging of the channel, failure in the air distribution system), one of the strands may receive less twist. This will lead to corkscrew of the yarn in the corresponding area and a decrease in its strength, i.e. to the formation of a defect. A direct consequence of such a defect is a decrease in the strength of the formed yarn and increased breakage. The presence of such yarn defects can be determined by comparing the average twist in the S-twist and Z-twist zones. For such a comparison, you can use the indicator of the relative difference in twists, which is calculated by the formula

$$\Delta_K = \frac{|K_S - K_Z|}{K_S + K_Z}, \quad (2)$$

where K_S and K_Z —are twist in zones with zones with S- and Z-twist, respectively.

The suggested twist values for self-twisted yarns are specific and cannot be used for yarns and threads of traditional structures. Some of these can be determined using existing methods such as twist measurement with a twist meter or direct visual counting of the number of twists in an area. A ruler can be used to determine the maximum length of twist zones and zero twist zones. The resulting data can be recalculated into the corresponding indicators using formulas (1), (2) or well-known formulas of mathematical statistics. The use of existing methods for determining the newly proposed indicators of yarn twist is laborious and has low accuracy. To determine the “average length of transition sections” indicator, special equipment is needed that will allow you to measure the distance between adjacent turns of strands on yarn. Currently, such equipment is not produced. Thus, the analysis of the existing methods for determining twist indexes showed their unsuitability for determining the indexes proposed for self-twisted yarns.

All the proposed indicators can be obtained by computer processing of the image of self-twisted yarn.

Methods based on computer image processing are widely used for yarn quality analysis [5-9].

The development of a method for computer analysis of the image of self-twisted yarn in order to determine its indicators of twisting refers to the "Computer Vision" technology.

Computer vision makes it possible to detect and classify objects. One of the most frequently solved tasks with the help of computer vision is recognition. Recognition includes search and identification of characteristic objects in an image or video stream [5, 6]. An enlarged algorithm for computer image analysis is shown in fig. 1.

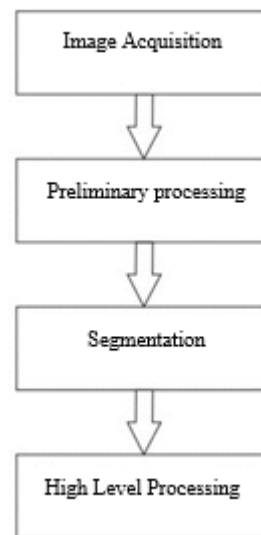


Fig. 1

Let us consider in more detail the content of each of the blocks of this algorithm.

Getting images. The initial data include various types of digital images or a sequence of digital images [7]. Pixel color values can make it possible to determine various physical characteristics of the object under study. Depending on the features of the analyzed object, different requirements are set to its image. These requirements usually include primarily the size and color mode of the image. In some cases, special requirements set to the matrices of the input device.

Preliminary processing. Depending on the method of image analysis, it is necessary to first achieve conformity of the digital image to certain parameters. Spatial noise reduction is most often used as preliminary processing. Its purpose is to remove uninformative pixel color values or improve image clarity [8]. The most common noise reduction methods are: adaptive filtering, methods based on wavelet transforms, principal component analysis, anisotropic diffusion. Preliminary processing also includes image contrast enhancement and scaling.

Segmentation (Identification of details) This stage is the search and selection of certain objects that may contain important information for further analysis [9].

High level processing. This is the last stage in the algorithm, which is essentially image recognition. At this stage, the conditions determined at the stage of segmentation can be checked. Typically, conditions refer to the position, size, or shape of objects in an image. [10] Depending on the method, the found objects can be classified into different categories.

Thus, the following tasks can be identified that are necessary for the development of an automated method for determining the indicators of twisting of self-twisted yarn:

- definition of requirements for a digital image;
- choice of input devices required to obtain a digital image of self-twisted yarn;
- definition of a method for recognition of a digital image of self-twisted yarn;
- development of algorithms for primary processing of digital images;
- development of a segmentation algorithm;
- development of an algorithm for recognizing a digital image of self-twisted yarn;
- development of software for collection and processing of statistical data.

As shown in [11], as a non-destructive method for monitoring yarn twist indicators, the least laborious method is based on the analysis of a digital image of yarn, due to the availability and wide choice of technical means for image acquisition, as well as due to the abundance of tools and algorithms for image processing.

A digital image is a kind of data array obtained as a result of analog-to-digital conversion of the original. The transformation process is called discretization. As a result of encoding, a file is generated that is already directly used by the operating system of a personal computer.

According to the discretization method, digitized images are divided into: raster, vector [12].

A raster is called a matrix of elements, which is a two-dimensional array of data. Each element of the array is a section of the original

with an average color index (pixel). The array contains for each pixel its coordinates on the plane and its color.

Raster images [12] are the most commonly used type of digital images. They are obtained either using a scanner or using digital cameras. As a sensitive element in these devices, a CCD matrix is used, which is an analog integrated circuit made of photodiodes. Unlike image scanning, where the original is read directly by the CCD, when shooting with a digital camera, the original is projected onto the CCD through the lens.

In discretization the amount of information about the original is averaged, so some of the information is lost. This is the main disadvantage of raster images and makes it impossible to scale them while maintaining the quality and volume of information. This is clearly seen in the enlarged image of the self-twisted yarn section shown in Fig. 2.

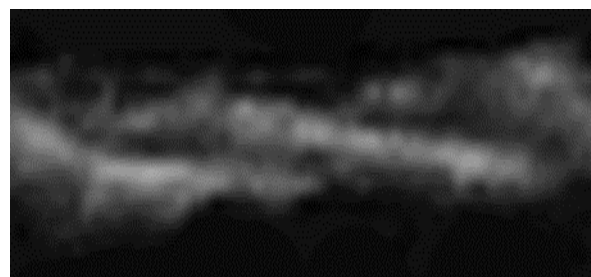


Fig. 2

The next type of digital images is called vector [12]. The vector image is based on the use of geometric objects and is essentially an image of mathematical functions. The most common and simplest vector image objects are the vector and the Bezier curve.

Compared to raster images, vector images have the following advantages:

- independence of the length of the descriptive part from the actual size of the object;
- the possibility of an infinite increase in the object;
- parameterization of objects. Any of the parameters of the object can be changed without loss of quality.

The use of vector images in non-destructive methods for controlling the geometric parameters of yarn could maximally simplify the algorithm of the method itself, since image, in

fact, is a set of mathematical functions. However, along with the advantages, there are also disadvantages. The key disadvantage of a vector image is the complexity of obtaining it. A vector digital image is obtained either by manual or automatic tracing. Manual tracing consists in specifying by a person all the vector objects that make up the original image. In fact, the case is a stroke of the contours in the image using a set of tools. Automatic tracing implies software image processing by a number of algorithms. However, these algorithms are not perfect and their application leads to possible loss of information, as well as an unnecessarily large number of primitives and curves for describing any object (Fig. 3).

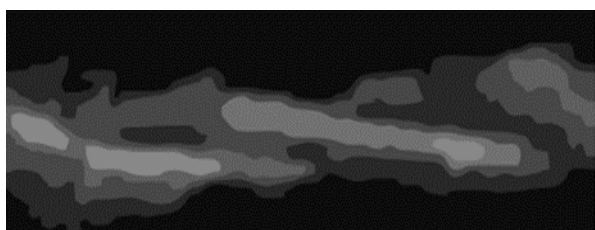


Fig.3

Despite a number of advantages of vector digital images, raster digital images are most suitable for automated methods of controlling the geometric parameters of yarn. This is due to the simplicity of their acquisition and the abundance of technical means for their generation. The disadvantages associated with the impossibility of scaling without loss of quality can be minimized by careful selection of technical means for obtaining an image.

For an automated method of determining the indicators of twisting of self-twisted yarn, it is necessary to set a number of conditions that a digital raster image must meet.

The main conditions are the following:

- image resolution. The cross section of the yarn in the image must be described by at least 10 pixels. Description by a smaller number of pixels makes it impossible to recognize due to the small amount of information about the sample.

- to reduce the time for processing, it is necessary to reduce the proportion of the background in the image. The width of the background should not be more than 5 sections of

the analyzed yarn. When developing the hardware-software system, it was accepted as 5 mm.

- the length of the sample displayed on the image should be at least 3 m. The latter is due to the fact that the analysis of geometric parameters is supposed to be carried out for self-twisted yarn, which has sections with twists of different directions, separated by untwisted sections. The maximum length of the twisting period for yarn formed on PC-225SHG machines can be up to 240 mm. Taking into account the fact that the software and hardware complex is supposed to be used, including for research purposes, the possible maximum length of the twist period was increased to 290 mm. To obtain reliable data, it is necessary to have at least 10 repetitions on one yarn sample, which means that the image length must be 2900 mm. Considering that imaging may not start from the beginning of the corresponding twist zone, 100 mm must be added, i.e. The length of the image must be 3 m.

Taking into account the above requirements for the digital image of self-twisted yarn, the problem arises of choosing a device for obtaining the image itself. The previously developed automated method for determining yarn twist [11] used a flatbed scanner.

To determine the twist, the thread under study was wound with a reel on a black-painted board. After that, the resulting sample was scanned by a flatbed scanner. As a result, the digital image presented many pieces of threads 25 cm long. Thus, the absence of a continuous image does not allow the use of this method for the analysis of self-twisted yarn [13 - 16].

The possibility of scanning the reel from both sides and then matching the corresponding areas of the yarn image is also not a solution to the problem. The process of combining image sections is quite laborious, in addition, it is practically not amenable to automation, which is associated with errors in the yarn laying step. In addition, even when combining images from two parts of the reel, it will not be possible to obtain a continuous image of the yarn, because sections of yarn laid on the side surfaces of the board do not participate in its formation. Thus, a flatbed scanner is not the

best option when choosing a digital imaging device for the method being developed.

An acceptable solution to this problem is the use of a vision system using television cameras intended for scientific equipment. In particular, the VIDEOSCAN family of cameras [17]. The system should include a device for drawing the yarn under study, which will ensure its positioning in the transverse direction, which will reduce the field of view of the camera in the corresponding direction to the required value of 5 mm. The length of the frame in the longitudinal direction is theoretically unlimited.

The VIDEOSKAN-2-205 camera [18, 19] allows macro photography of objects with a resolution of 1390×1040 pixels at a pixel size of $4.65 \times 4.65 \mu\text{m}$. The camera is fully synchronized with a personal computer and is equipped with a USB interface. Image acquisition is in real time - the average frame rate is 7.7 frames / s. In this way, high-quality images of long yarn sections can be obtained. Image acquisition control can be hardware-synchronized upon receipt of an external pulse. For example, from an external drive. Includes program development kit (SDK) with descriptions. The SDK allows the user to develop their own image capture software.

The disadvantages of this equipment can be attributed only to its high cost.

The novelty of the results obtained on the basis of the performed work is the substantiation of requirements for the equipment for obtaining the primary image of yarn, allowing to provide its sufficient informativeness.

CONCLUSIONS

1. Indicators have been proposed that allow assessing the twist of a twisted yarn, such as unevenness in twist, the average length of the transition sections, the length of the twist zones and the maximum length of the zones with zero twist, the relative difference in twists in strands.

2. It has been established that the full range of proposed indicators can be obtained by analyzing the digitized image of yarn.

3. The parameters of the device for obtaining the primary image of the yarn, such as the minimum length and width of the frame, the camera resolution, the frequency of shooting, and the presentation of the image, are substantiated.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. М.: КолосС, 2011. 360 с.
2. Мовшович П.М. Самокруточное прядение. М.: Легпромбытиздат, 1985. 248 с.
3. Королева М.К., Смирнова Н.А., Рудовский П.Н., Мининкова И.В. Влияние эластичных комбинированных самокруточных (КСК-структуры) нитей на анизотропию усадки льносодержащих тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 1 (313). С. 18...20.
4. Смельская И.Ф., Ильин Л.С., Жуков В.И., Кротов В.Н. Прядение льна. Кострома: КГТУ, 2007.
5. Gonçalves N., Carvalho V., Belsley M. etc. Yarn features extraction using image processing and computer vision – A study with cotton and polyester yarns // Measurement. 2015, V.68, P. 1...15. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224115000688>.
6. Shams Nateri A., Ebrahimi F., Sadeghzade N. Evaluation of yarn defects by image processing technique // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. 2014, V.125, Issue 20, P. 5998...6002. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402614008523>.
7. Sengupta A., Roy S., Sengupta S. Development of a low cost yarn parameterisation unit by image processing // Measurement. V. 59, 2015, P. 96...109. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224114004084>
8. Dong C.Z., Ye X.W., Jin T. Identification of structural dynamic characteristics based on machine vision technology // Measurement. V.126, 2018, P. 405...416. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224117306152>.
9. Jasińska I. The Algorithms of Image Processing and Analysis in the Textile Fabrics Abrasion Assessment. Applied Sciences. 2019, 9(18): 3791. – <https://doi.org/10.3390/app9183791><https://doi.org/10.3390/app9183791>
10. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бином, 2006. 752 с.
11. Желтов С.Ю. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
12. Пат. 2275320 RU. Method of and device for checking form of bobbin.
13. Volgin A.B., Rudovsky P.N. Treatment and identification of figure image of self-twisted threads with aim of definition of value and twisting direction // Vestnik KGTU. 2012. № 2 (29). С. 37...39.

14. Нуриев М.Н., Рудовский П.Н. Совершенствование алгоритма распознавания паковок крестовой намотки // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. № 2 (306). С. 121...123.

15. Рудовский П.Н., Нуриев М.Н., Киселев П.Н. Получение графической модели паковок крестовой мотки // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. № 3 (290). С. 124...125.

16. Зубко Д.П. Разработка методов компьютерного измерения показателей скрученности пряжи: дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 2002.

17. Новак Д. Цифровые изображения и их виды // Медиаскоп. 2006. № 1. С. 14.

18 <http://videoscan.ru/page/670>

19. <http://videoscan.ru/page/856>

REFERENCES

1. Kiryuhin S.M., Shustov Yu.S. Tekstil'noe materialovedenie. M.: KolosS, 2011. 360 p.

2. Movshovich P.M. Samokrutochnoe pryadenie. M.: Legprombitizdat, 1985. 248 p.

3. Koroleva M.K., Smirnova N. etc. Influence of elastic combined self-twist on the anisotropy of shrinkage of flax-containing fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2009. № 1 (313). С. 18...20.

4. Smelskaya I.F. Priadenie l'na. Kostroma: KGTU, 2007.

5. Gonçalves N., Carvalho V., Belsley M. etc. Yarn features extraction using image processing and computer vision – A study with cotton and polyester yarns // Measurement. 2015, V.68, P. 1...15. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224115000688>.

6. Shams Nateri A., Ebrahimi F., Sadeghzade N. Evaluation of yarn defects by image processing technique // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. 2014, V. 125, Issue 20, P. 5998...6002. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402614008523>.

7. Sengupta A., Roy S., Sengupta S. Development of a low cost yarn parameterisation unit by image processing // Measurement. Volume 59, January 2015, P. 96...109. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224114004084>

8. Dong C.Z., Ye X.W., Jin T. Identification of structural dynamic characteristics based on machine vision technology // Measurement. Volume 126, October 2018, P. 405...416. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224117306152>.

9. Jasińska I. The Algorithms of Image Processing and Analysis in the Textile Fabrics Abrasion Assessment. Applied Sciences. 2019. 9(18): 3791. – <https://doi.org/10.3390/app9183791><https://doi.org/10.3390/app9183791>

10. Shapiro L., Stokman G. Komp'uternoe zrenie. M.: Binom, 2006. 752 p.

11. Zheltov S.Yu. etc. Obrabotka i analiz izobrazheniy. M.: Fizmatkniga, 2010. 672 p.

12. Pat. 2275320 RU. Способ контроля формы паковки и устройство для его осуществления.

13. Волгин А.Б., Рудовский П.Н. Обработка и распознавание цифрового изображения самокрученных нитей с целью определения значения и направления крутки // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2012. № 2 (29). С. 37...39.

14. Nuriev M.N., Rudovsky P.N. Perfection of algorithm of recognition of packages with cross winding // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2008. № 2 (306). С. 121...123.

15. Rudovsky P.N., Nuriev M.N., Kiselev P.N. Receiving the graphical model of the cross winding bobbins // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2006. № 3 (290). С. 124...125.

16. Zubko D.P. Razrabotka metodov komp'uternogo izmereniya pokazateley skruченности pryazhi: dis. ... PHD. Kostroma, 2002.

17. Novak D. Tzifrovye izobrazheniya i ih vidy // Mediascop. 2006. 1. P. 14.

18. <http://videoscan.ru/page/670>

19. <http://videoscan.ru/page/856>

Рекомендована кафедрой инженерии и прикладных наук Азербайджанского государственного экономического университета. Поступила 01.04.23.

УДК 691.554

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_158

**ЗАЩИТА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ОТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ
МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА КАЛЬЦИЯ**

**PROTECTION OF TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES
ENCLOSURE STRUCTURES FROM
MICROBIOLOGICAL CORROSION BY MATERIALS
BASED ON CALCIUM HYDROXIDE**

В.Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Д.А. ПАНЧЕНКО³, Ю.Ф. ПАНЧЕНКО³, Б.Е. НАРМАНИЯ⁴

V.E. RUMYANTSEVA^{1,2}, D.A. PANCHENKO³, YU.F. PANCHENKO³, B.E. NARMANIA⁴

¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

²Ивановский государственный политехнический университет,

³Тюменский индустриальный университет,

⁴Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(¹Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,

²Ivanovo State Polytechnic University,

³Industrial University of Tyumen,

⁴Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru, borisfablee@gmail.com

Воздушная среда в цехах предприятий текстильной промышленности отличается повышенной температурой и влажностью, что негативно сказывается не только на влажностном состоянии наружных ограждающих конструкций, но и на самочувствии и здоровье людей. Кроме того, повышенная влажность ограждающих конструкций в сочетании с их низким термическим сопротивлением и высокой температурой воздуха способствует развитию плесневых грибов на отдельных участках наружных стен. Поэтому выбор штукатурного покрытия для помещений предприятий текстильной промышленности должен осуществляться с учетом их температурно-влажностного режима. Микробиологической стойкостью обладают штукатурные растворы на основе гидроксида кальция, что обусловлено высоким рН среды. Однако необходимо предусмотреть мероприятия по снижению его капиллярного водопоглощения для предотвращения увлажнения как самого штукатурного слоя, так и наружной ограждающей конструкции.

В работе представлены результаты оценки грибоустойкости штукатурного раствора на основе гидроксида кальция в сравнении с гипсовой штукатуркой. Образцы штукатурных покрытий обрабатывались суспензией спор грибов Paecilomyces elegans VKM F-1329, Aspergillus niger RCAM 02334, Cladosporium herbarum VKM F-235, Verticillium nigrescens VKM F-2693, Penicillium chrysogenum RCAM 00888, а затем выдерживались во влажной среде в термостате в течение 6 месяцев. Результаты исследований показывают, что даже длительное нахождение раствора на основе гидроксида кальция в среде, зараженной спорами грибов, не приводит к его заражению в отличие от гипсового штукатурного покрытия. Вопрос снижения водопоглощения при капиллярном подсосе решается путем введения в состав раствора гидрофобизатора – стеарата кальция. Оптимальное содержание гидрофобизатора в составе сухой штукатурной смеси – 0,22%.

The parameters of the air environment in the workshops of textile industry enterprises are characterized by high temperature and humidity, that negatively affect not only the humidity state of the building envelope, but also the well-being and health of people. In addition, the increased humidity of the enclosure structures in combination with their low thermal resistance and high air temperature contribute to the development of mold fungi in certain areas of the exterior walls. Therefore, the choice of plaster coating for the premises of textile industry enterprises should be carried out taking into account their temperature and humidity regime. Plaster solutions based on calcium hydroxide have microbiological resistance, which is due to the high pH of the medium. However, it is necessary to provide measures to reduce its capillary water absorption, in order to prevent moistening of both the plaster layer itself and the outer enclosing structure.

The paper presents the results of assessing the fungus resistance of plaster solution based on calcium hydroxide in comparison with gypsum plaster. The plaster coating samples were treated with a suspension of fungal spores Paecilomyces elegans VKM F-1329, Aspergillus niger RCAM 02334, Cladosporium herbarum VKM F-235, Verticillium nigrescens VKM F-2693, Penicillium chrysogenum RCAM 00888, and then kept in a humid environment in a thermostat for 6 months. The research results show that even a prolonged presence of a calcium hydroxide based plaster in an environment infected with fungal spores does not cause to its infection, unlike gypsum plaster coating. The issue of reducing water absorption during capillary action is solved by introducing a calcium stearate hydrophobizer into the composition. The optimal content of the hydrophobizer in the dry plaster mixture is 0,22%.

Ключевые слова: предприятия текстильной промышленности, влажность, штукатурное покрытие, гидроксид кальция, гипс, микробиологическая стойкость, плесневые грибы, гидрофобизатор, водопоглощение.

Keywords: textile industry enterprises, humidity, plaster, calcium hydroxide, gypsum, microbiological resistance, mold fungi, hydrophobizer, water absorption.

Введение

Особенностью текстильных предприятий является наличие больших цехов (ткац-

ких, прядильных и др.) с однотипными рабочими местами, микроклимат в которых идентифицируется как вредный и (или)

опасный фактор, так как рабочие места расположены в закрытых производственных помещениях, на которых имеется производственное оборудование, являющееся искусственным источником тепла [1].

Действие вредных факторов ткацкого производства обуславливает высокую степень риска профзаболеваемости персонала. В работе [2] проанализированы основные причины профзаболеваемости работников на текстильном предприятии, из которых 39% приходится на физические факторы, которые, кроме шума, вибрации и плохого освещения, включают параметры микроклимата, а около 9% приходится на действие биологических факторов и аллергические реакции.

Особенность микроклимата цехов предприятий текстильной промышленности заключается в наличии повышенной температуры воздуха в сочетании с его высокой влажностью, что обусловлено спецификой технологии [3]. Однако в ряде цехов повышенная температура может приводить к низкой влажности воздуха. Для повышения влажности в цехах предлагается устанавливать системы туманообразования [2]. Влажность воздуха оказывает непосредственное влияние на состояние слизистых оболочек человека, которые выполняют защитную функцию организма, поэтому она строго регламентируется требованиями нормативных документов. В процессе регулирования влажности в помещении не последнюю роль играет штукатурное покрытие стен, а именно его паропроницаемость [4]. Гипсовые штукатурные покрытия «сушат» воздух, тогда как цементно-песчаные, наоборот, обладают низкой паропроницаемостью. Следовательно, целесообразно рассмотреть возможность применения для оштукатуривания стен помещений предприятий текстильной промышленности штукатурных составов на основе гашеной извести, представляющей собой гидроксид кальция, которые обладают высокой паропроницаемостью.

Анализ температурных режимов некоторых предприятий текстильной промышленности, представленный в работе [3],

свидетельствует о том, что примерно на половине из обследованных объектов, а это 6 предприятий, температура в летний период приближается к максимально допустимой, а в зимний – к минимально допустимой, что связано с несоответствием ограждающих конструкций современным требованиям к тепловой защите зданий, так как большинство предприятий были построены в период 1960-1980 гг. Основное воздействие, которое испытывают штукатурные покрытия внутри здания, – газовые среды с высокой влажностью, обуславливающие выпадение конденсата [5, 6], особенно при несоответствии термического сопротивления наружных ограждающих конструкций современным требованиям. Сочетание высокой температуры воздуха и влажного состояния внутренней поверхности стены создает благоприятные условия для развития биокоррозии [7]. Микробиологическая коррозия штукатурных покрытий обусловлена воздействием плесневых грибов, чаще всего рода *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, реже – *Alternaria*, *Fusarium* [8...10].

Известно, что pH среды оказывает значительное влияние на стойкость материала к плесневым грибам [11...13]. Следовательно, применение штукатурных составов на основе гидроксида кальция для отделки цехов предприятий текстильной промышленности является весьма целесообразным. Однако известковые штукатурные растворы обладают высоким водопоглощением при капиллярном подсосе, что будет способствовать проникновению конденсирующейся на их поверхности влаги вглубь покрытия и приводить к повышению влажности стеновой конструкции. Следовательно, необходимо предусмотреть мероприятия по снижению капиллярного водопоглощения известково-песчаного штукатурного раствора.

Цель работы: оценка микробиологической стойкости штукатурного раствора на основе гидроксида кальция и разработка мероприятий по снижению его водопоглощения при капиллярном подсосе.

Материалы и методы

Штукатурный раствор на основе гидроксида кальция представляет собой известково-песчаную смесь с активностью по CaO и MgO – 9,5%. В качестве образца сравнения использовалась готовая штукатурная смесь на основе гипса.

Для оценки грибостойкости из штукатурных составов изготавливались образцы размером 4x4x2 см, которые обрабатывались суспензией спор грибов путем 5-секундного окунания. В исследованиях применялись суспензии спор грибов *Raecilomyces elegans* VKM F-1329, *Aspergillus niger* RCAM 02334, *Cladosporium herbarum* VKM F-235, *Verticillium nigrescens* VKM F-2693, *Penicillium chrysogenum* RCAM 00888.

После 28-суточного и 6-месячного выдерживания зараженных образцов в термостате при температуре среды 30 °C и влажности более 90% осуществлялось исследование соскобов путем посева на питательную среду и 7-дневного культивирования, а

также микроскопические исследования структуры материала на предмет наличия мицелия.

В качестве гидрофобизатора в исследованиях применялся стеарат кальция. Водопоглощение при капиллярном подсосе оценивалось на образцах-балочках размером 4x4x16 см по ГОСТ 31356-2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний».

Результаты

Результаты исследований, приведенные в табл. 1, показали, что уже через 28 суток все споры грибов на поверхности штукатурного раствора на основе гидроксида кальция погибли (рис. 1) в отличие от гипсовой штукатурки (рис. 2). Не произошло заражения образцов штукатурного раствора на основе гидроксида кальция от гипсовых образцов за 6 месяцев хранения их в одном термостате. Это подтверждает высокую микробиологическую стойкость штукатурного раствора на основе гидроксида кальция.

Таблица 1

№ образца	Численность плесневых грибов на образце штукатурного раствора, спор/г			
	на основе гидроксида кальция		на основе гипса	
	через 28 суток	через 6 месяцев	через 28 суток	через 6 месяцев
1	0	0	5,3x10 ³	2,1x10 ⁴
2	0	0	6,9x10 ²	6,7x10 ³
3	0	0	3,6x10 ³	3,8x10 ³
4	0	0	2,2x10 ⁴	1,1x10 ⁵
5	0	0	3,8x10 ³	1,5x10 ⁴

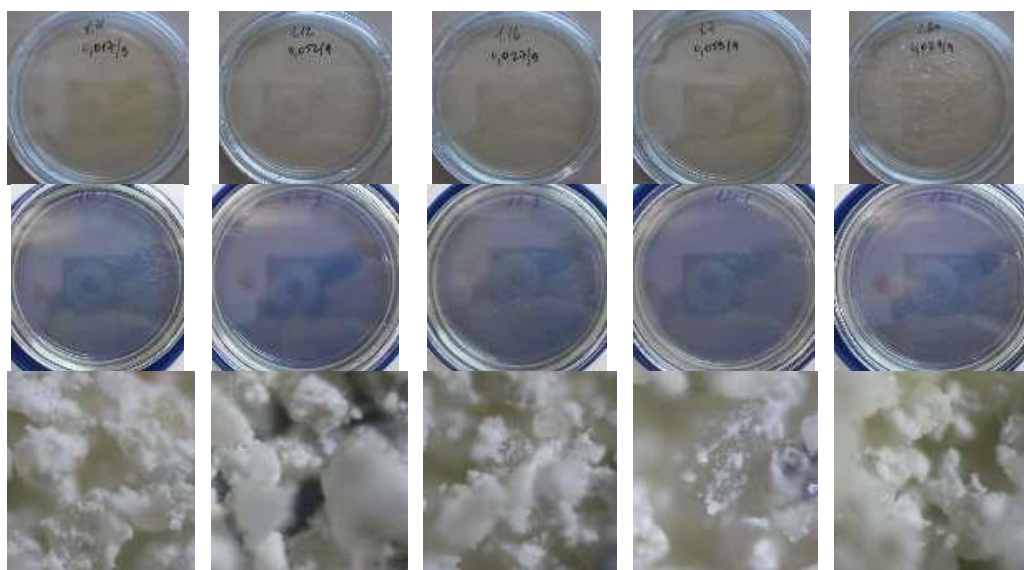


Рис. 1

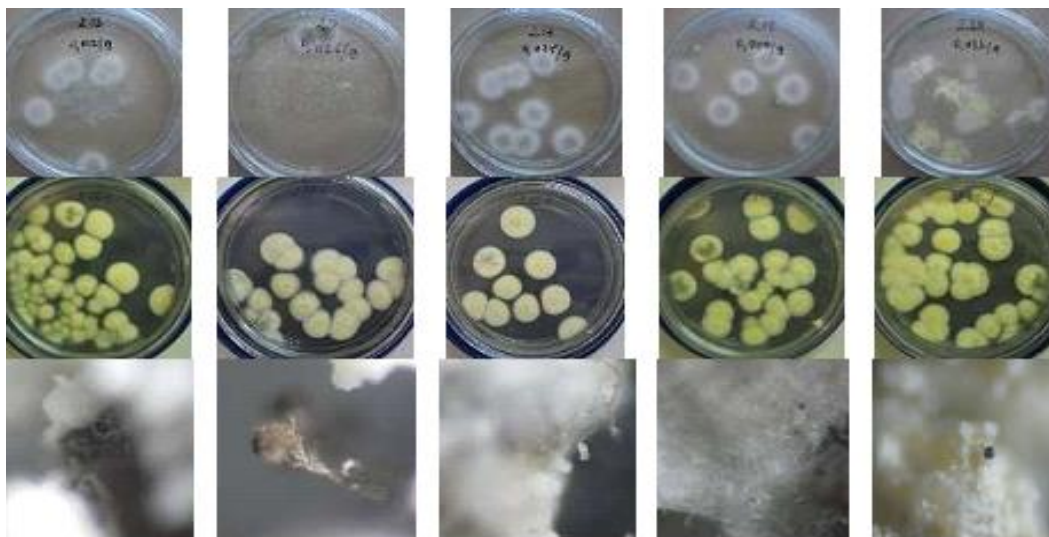


Рис. 2

Недостатком штукатурного раствора на основе гидроксида кальция является его высокое водопоглощение при капиллярном подсосе. Классическим способом снижения водопоглощения является применение гидрофобизаторов [14...16]. Результаты эксперимента, представленные на рис. 3, показывают, что путем применения гидрофобизатора – стеарата кальция – в составе сухой штукатурной смеси на основе гидроксида кальция можно снизить водопоглощение при капиллярном подсосе до $0,17 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$. Однако согласно требованиям ГОСТ 31357-2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия» водопоглощение при капиллярном подсосе в течение 24 часов не должно превышать $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$, следовательно, оптимальная дозировка стеарата кальция, при которой удовлетворяется это требование, составляет 0,22%.

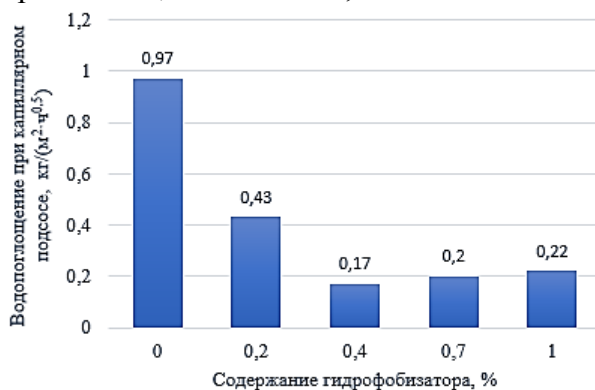


Рис. 3

ВЫВОДЫ

Путем введения в состав сухой штукатурной смеси на основе гидроксида кальция гидрофобизирующей добавки – стеарата кальция – можно получить штукатурный раствор с низким капиллярным водопоглощением и высокой микробиологической стойкостью, что является оптимальным решением для оштукатуривания стен предприятий текстильной промышленности с учетом их специфических температурно-влажностных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крайнова А.Е. Особенности проведения специальной оценки условий труда на предприятиях текстильной промышленности // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации – 2015): сб-к матер. междунар. науч.-техн. конф. М.: МГУДТ, 2015. Т. 3. С. 124...128.
2. Крайнова А.Е., Пасько П.В. Разработка мероприятий по улучшению условий в ткацком цехе // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2021): сб. матер. Нац. молодеж. науч.-техн. конф. Иваново: ИВГПУ, 2021. С. 367...369.
3. Король Е.А., Дегаев Е.Н., Нармания Б.Е. Верификация температуры воздуха рабочих зон на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 189...194.
4. Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Неровная С.В., Второв Б.Б. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 32...72.

5. Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В. Эксплуатационная безопасность кирпичных стен предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 201...208.

6. Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А., Новикова У.А., Строкін К.Б. Изменение несущей способности строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 218...227.

7. Карцева Н.Е., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Проблема биокоррозионного разрушения строительных материалов // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2021): сб. матер. Нац. молодеж. науч.-техн. конф. Иваново: ИВГПУ, 2021. С. 312...314.

8. Афоничева А.Б. Проведение микробиологического мониторинга жилых помещений различной степени загрязненности // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сб-к матер. V Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, молодых ученых и студентов. Екатеринбург: РГПУ, 2022. С. 32...36.

9. Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Зоткина М.М., Светлов Д.Д., Бажанова М.Е., Вильдяева М.В., Захарова Е.А. Экологические аспекты биокоррозии и повышение биостойкости строительных материалов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 4. С. 14...26.

10. Фомичев В.Т., Камкова С.В., Куликова И.А., Чичерина Г.В. Защита строительных материалов и конструкций от повреждений микромицетами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 4 (85). С. 183...191.

11. Семенов С.А. Биоповреждения материалов и изделий техники // Вестник МИТХТ. 2007. Т.2, №6. С. 3...26.

12. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Исследование процессов массопереноса при биокоррозии бетона // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сб-к науч. тр. РААСН. В 2 т. Т. 2. М.: АСВ, 2021. С. 299...303.

13. Кряжев Д.В. Экологические основы диагностики процессов биодеструкции природных и синтетических полимерных материалов в условиях ряда абиотических факторов внешней среды: дис. ... д-ра биол. наук. Н. Новгород: НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2014. 325 с.

14. Кузьмина В.П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Ч. 1. // Сухие строительные смеси. 2017. № 6. С. 34...38.

15. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. Исследования жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов, модифицированных

гидрофобизирующими добавками // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сб-к науч. тр. РААСН. В 2 т. Т. 2. М.: АСВ, 2021. С. 289...298.

16. Pavlíková M, Pavlík Z, Pernicová R, Černý R The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters // AIP Conference Proceedings 1738, 280005 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4952065> Published Online: 23 June 2016.

17. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Евсяков А.С. Кольматация пор цементных бетонов при гидрофобизации // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году: сб-к науч. тр. РААСН. В 2 т. Т. 2. М.: АСВ 2019. С. 563...572. – DOI: 10.22337/9785432303134-563-572.

REFERENCES

1. Krajnova A.E. Features of conducting a special assessment of working conditions at textile industry enterprises // Proceedings of materials of the International scientific and technical conference. M.: MGUDT 2015. P. 124...128.

2. Krajnova A.E., Pasko P.V. Development of events to improve conditions in the weaving shop // Young scientists - development of the National Technological Initiative (POISK). Ivanovo: IVGPU, 2021. pp. 367...369.

3. Korol E.A., Degaev E.N., Narmanija B.E. The air temperature verification of working areas in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 6 (402). P. 189...194. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_189.

4. Strokova V.V., Sivalneva M.N., Nerovnaya S.V., Vtorov B.B. Plaster coatings as a regulator of microclimate parameters in the room: a review of theoretical and experimental studies // Stroitel'nye Materialy. 2021, 7. P. 32...72. – DOI: 10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72.

5. Korol E.A., Kustikova Y.O., Shenbereva A.V. Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 3 (405). P. 201...208. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_201.

6. Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A., Novikova U.A., Strokina K.B. Changing the bearing capacity of building structures of textile and light industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2 (404). P. 218...227. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_218.

7. Kartseva N.E., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. The problem of corrosion destruction of building materials // Young scientists – development of the National Technological Initiative (POISK). Ivanovo: IVGPU, 2021. P. 312...314.

8. Afonicheva A.B. Conducting microbiological monitoring of residential premises of various degrees of

contamination // Proceedings of materials of the Fifth International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists and students. Yekaterinburg, 2022. P. 32...36.

9. Smirnov V.F., Svetlov D.A., Zotkina M.M., Svetlov D.D., Bazhanova M.E., Vildiaeva M.V., Zakharova E.A. Environmental aspects of biocorrosion and improvement of biostability in building materials // Vestnik of Volga State University of Technology. Seriya: Materials. Constructions. Technologies. 2021. № 4. P. 14...26. – DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14.

10. Fomichev V.T., Kamkova S.V., Kulikova I.A., Chicherina G.V. Protection of building materials and structures from damage by micromycetes // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2021, № 4 (85). P. 183...191.

11. Semenov S.A. Biodestruction of materials and engineering products // Vestnik MITHT. 2007. V.2, №6. P. 3...26.

12. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. Research of mass transfer processes in concrete biocorrosion // Proceedings of scientific papers of the RAASN: in 2 volumes. Volume 2. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN). Moscow, 2021. P. 299...303.

13. Krjazhev D.V. Ecological bases of diagnostics of biodegradation processes of natural and synthetic polymer materials under conditions of a number of abiotic environmental factors: dissertation for the degree of

Doctor of Biological Sciences. Nizhny Novgorod: Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 2014. 325 p.

14. Kuzmina V.P. Features of the use of dry building mixes during finishing works in various climatic conditions. Part 1 // Suhie stroitel'nye smesi. 2017. № 6. P. 34...38.

15. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V. Research of Liquid Corrosion of the Second Kind of Cement Concrete Modified with Hydrophobizing Additives // Proceedings of scientific papers of the RAASN: in 2 volumes. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN). Moscow, 2021. P. 289...298.

16. Pavliková M, Pavlík Z, Pernicová R, Černý R The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters // AIP Conference Proceedings 1738, 280005 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4952065>.

17. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kononova V.S., Evsyakov A.S. Colmatation of Pores of Cement Concretes at Hydrophobization // Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Volume 2. Moscow, 2019. P. 563...572. – DOI: 10.22337/9785432303134-563-572.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 26.10.23.

УДК 614.842+614.849 / 004.942
DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_164

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PREDICTION OF WORK PARAMETERS OF FIRE EXTINGUISHING PARTICIPANTS ON THE EXAMPLE OF ENTERPRISES OF TEXTILE INDUSTRY

Б.Б. ГРИНЧЕНКО¹, Р.М. ШИПИЛОВ¹, М.О. БАКАНОВ¹, В.Е. РУМЯНЦЕВА², Д.Ю. ЗАХАРОВ¹
B.B. GRINCHENKO¹, R.M. SHIPILOV¹, M.O. BAKANOV¹, V.E. RUMYANTSEVA², D.YU. ZAKHAROV¹

¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²Ивановский государственный политехнический университет)

(¹Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,
²Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, rim-sgpu@rambler.ru, mask-13@mail.ru,
varrym@gmail.com, mr.dmitriyzakharov@mail.ru

Статья посвящена вопросам определения плановых значений параметров безопасной работы пожарных в дыхательных аппаратах при выполнении аварийного спуска. Актуальность работы заключается в необходимости рационального распределения временных и дыхательных ресурсов пожарных при выполнении работ в дыхательных аппаратах со сжатым воз-

духом. Такой подход позволяет прогнозировать параметры работы с заданным значением уровня риска, что в свою очередь расширяет возможности лица, принимающего решение, и оказывает непосредственное влияние на контроль за безопасностью пожарных на групповом и персонализированном уровне за счет средств дистанционного мониторинга. Целью исследования является разработка научно обоснованной методики по определению плановых значений параметров безопасной работы пожарных в различных условиях с учетом времени и запаса дыхательных ресурсов. Научная новизна исследования состоит в синтезе дыхательных и временных ресурсов пожарных в ходе натурного эксперимента при выполнении аварийного спуска. Практическая значимость работы направлена на повышение эффективности управления безопасностью участников тушения пожара при выполнении аварийного спуска на различных объектах экономики, включая текстильные предприятия.

The article is devoted to the formation of planned values of parameters of safe work of firefighters in breathing apparatus, when performing emergency descent. The relevance of the work is the need for rational distribution of time and respiratory resources of firefighters when performing work in breathing apparatus with compressed air. This approach allows predicting the parameters of work with a given value of the risk level, which in turn expands the capabilities of the decision maker and has a direct impact on the control of firefighters' safety at the group and personalized level through remote monitoring means. The purpose of the study is the formation of planned values of safe work parameters of firefighters when performing emergency descent in breathing apparatus with compressed air. Scientific novelty of the study consists in synthesizing the respiratory and time resources (information) of firefighters, obtained in the course of field experiment during the performance of emergency descent. The practical significance of the work is aimed at improving the effectiveness of safety management of firefighting participants when performing emergency descent at various economic facilities, including textile enterprises.

Ключевые слова: планирование, управление безопасностью, параметры работы, дыхательный аппарат, газодымозащитники, аварийный спуск (самоспасание).

Keywords: planning, safety management, operating parameters, SCBA, firefighters, emergency descent (self-rescue).

Введение

В настоящее время крупные текстильные предприятия и фабрики заменены на частные производственные точки, которые могут располагаться как в отдельно стоящих зданиях, так и внутри помещений различной этажностью. Это говорит о том, что в зданиях различной функциональной принадлежности могут находиться частные швейные предприятия вне зависимости от их принадлежности. Об этом свидетельствует анализ, проведенный в работах [1, 2],

который говорит о росте темпов развития легкой промышленности в Российской Федерации. На текстильных предприятиях обрабатываются и перерабатываются пожаро-взрывоопасные материалы, такие как природные волокна растительного (хлопковое, льняное, пенька, джут) и животного (шерсть, шелк) происхождения, химические и искусственные волокна. Большую пожарную опасность представляют очесы,

отходы, пух, текстильная пыль, которая зачастую скапливается в вентиляционной системе и технологическом оборудовании.

Основными причинами возникновения возгорания и пожаров на текстильных предприятиях являются: несоблюдение правил пожарной безопасности при проведении электро- и газосварочных работ; нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования (перегрузка электрических цепей, загрязнение электрооборудования текстильной пылью, короткие замыкания), нарушение технологических режимов (обрыв и наматывание волокон, ленты, пряжи, шнура, тесьмы на вращающиеся части машин, что приводит к уплотнению и дальнейшему воспламенению волокнистой структуры вследствие усиленного трения; повышение температуры в сушилках, неправильный режим опаливания тканей и термической обработки промежуточного продукта); накопление текстильного пуха и пыли на осветительной арматуре и отопительных приборах, безнадзорность включенных электроприборов; электростатические разряды; атмосферное электричество (молнии) [3].

При возникновении пожара на таких предприятиях в первые минуты создается сложная обстановка ввиду сосредоточения большого количества текстильных изделий и сырья (легкогорючей пожарной нагрузки) на 1 м². За считанные секунды весь объем помещений и этажей, включая лестничные клетки, заполняется плотным дымом. Такие обстоятельства значительно затрудняют действия пожарных, так как они проводят разведку внутри зданий в условиях опасных факторов пожара. В ходе выполнения пожарной разведки звено газодымозащитной службы (ГДЗС) работает в зоне повышенного риска наступления деструктивного события, связанного с получением травмы, а в худшем случае гибелью, так как разведка постоянно производится на неизвестной планировке в условиях нулевой видимости. Этот горький опыт запечатлен в истории пожарной охраны [4...7]. Поэтому по правилам проведения пожарной раз-

ведки у газодымозащитников в голове всегда должно быть минимум два пути покидания задымленной территории. В качестве основного способа покидания является дверь, через которую звено ГДЗС вошло в помещение. Обратный путь осуществляется в выбранном направлении по стенам, либо в качестве ориентира используется пожарный рукав или линия поиска. В качестве запасного выхода может использоваться балкон / окно, которое встречается на пути следования. Такой способ называется самоспасание или аварийный выход. Для его выполнения у звена ГДЗС есть специальная экипировка в виде карабина пожарного и веревки пожарной спасательной (ВПС-30/50), а в лучшем случае индивидуальное канатно-спусковое устройство [8]. Однако наличие специального оборудования не гарантирует успех в спасении, который во многом будет зависеть от тренированности газодымозащитников в применении навыка аварийного выхода, а также наличия достаточного количества воздуха в дыхательном аппарате [9, 10].

Ввиду вышеизложенного возникает потребность в рассмотрении вопроса, связанного с определением параметров безопасной работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности [11].

Методика и организация исследования

Моделирование временных и дыхательных ресурсов газодымозащитников возможно путем получения эмпирических значений этих параметров при выполнении аварийного спуска, поэтому методология экспериментального исследования построена в порядке, представленном на рис. 1.

Такой подход позволяет сформировать интервал плановых значений параметров работы с заданной вероятностью при выполнении элементарных действий, которые в совокупности образуют процесс пожаротушения [12]. Поэтому с целью формирования плановых значений временных и дыхательных ресурсов было проведено экспериментальное исследование.



Рис. 1

Исследование проводилось в закрытом спортивном комплексе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в дневное время суток при искусственном освещении и положительной температуре окружающей среды (20-25 °С) с участием 50 газодымозащитников в возрасте от 20 до 22 лет. Стоит отметить, что все исполнители обладали навыком и опытом самоспасания. Используемое снаряжение и оборудование при постановке эксперимента представлено в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№	Наименование	Количество
1	Боевая одежда пожарного (БОП)	50
2	Карабин пожарный спасательный	50
3	Топор пожарный поясной	50
4	Дыхательный аппарат со сжатым воздухом ПТС «Профи-М»	50
5	Баллон со сжатым воздухом объемом 6,8 л	50
6	Веревка пожарная спасательная (ВПС-30)	4
7	Секундомер	2
8	Нагрудный пульсометр Polar H10	10

Условия выполнения сценария заключались в следующем: ВПС-30 уложена в бухту и находится у исполнителя, который включен в дыхательный аппарат со сжатым воздухом и располагается на коленях у стены, противоположной окну здания. По команде «К самоспасанию приступить!» исполнитель закрепляет веревку за несущую конструкцию здания любым доступным способом, далее сбрасывает ее с 4-го этажа учебной башни, убеждается, что веревка полностью размотана, а ее конец касается предохранительной подушки учебной башни, после чего производит выход с последующим спуском. Сценарий считается выполненным, если исполнитель смог самостоятельно спуститься с 4-го этажа учебной башни. Все работы на высоте выполнялись в обязательном порядке со страховкой.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента получены значения дыхательных и временных ресурсов, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

№	$P_{нач.}$	$P_{кон.}$	$\Delta P, атм$	$t, с$	№	$P_{нач.}$	$P_{кон.}$	$\Delta P, атм$	$t, с$
1	230	210	20	84	26	240	230	10	89
2	250	230	20	95	27	280	260	20	118
3	250	230	20	134	28	220	210	10	89
4	250	230	20	133	29	230	220	10	94
5	260	230	30	158	30	220	198	22	107
6	240	220	20	183	31	240	228	12	83
7	240	230	10	81	32	230	218	12	69
8	250	230	20	89	33	250	238	12	80
9	240	220	20	86	34	210	198	12	120
10	240	220	20	81	35	260	238	22	124
11	240	220	20	108	36	240	228	12	59
12	260	240	20	135	37	250	225	25	115
13	250	240	10	110	38	220	208	12	112
14	240	230	10	92	39	240	215	25	133
15	260	240	20	107	40	270	248	22	143
16	230	210	20	118	41	230	215	15	88
17	230	220	10	70	42	280	265	15	128
18	250	240	10	60	43	250	235	15	84
19	210	200	10	88	44	260	248	12	83
20	250	230	20	93	45	210	185	25	144
21	260	250	10	68	46	200	175	25	149
22	260	250	10	73	47	250	235	15	58
23	250	220	30	134	48	240	228	12	84
24	270	250	20	115	49	180	165	15	112
25	230	220	10	117	50	260	230	30	165

Примечание: $P_{нач.}$, $P_{кон.}$ – начальное и конечное давление у газодымозащитника при выполнении сценария; ΔP – разность между начальным и конечным показателем давления; t – время, затраченное на выполнение сценария.

Для доказательства гипотезы о принадлежности эмпирических данных закону нормального распределения применялся

критерий Шапиро-Уилка. Основные показатели статистики критерия представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные показатели критерия для дыхательных ресурсов							
nm_2	S	S^2	$W_{расч.}$	$W_{табл.}$ при $\alpha = 0,05$	$W_{табл.}$ при $\alpha = 0,01$	$\bar{X}, атм$	$\sigma, атм$
1780,8	41,14	1692,2	0,950	0,947	0,928	16,94	6,03
Основные показатели критерия для временных ресурсов							
nm_2	S	S^2	$W_{расч.}$	$W_{табл.}$ при $\alpha = 0,05$	$W_{табл.}$ при $\alpha = 0,01$	$\bar{X}, с$	$\sigma, с$
37690,9	198,38	39356,57	0,999	0,947	0,928	103,98	27,73

Значение p – квантиля для выборки данных $n = 50$ при $p = \alpha = 0,05$ и $p = \alpha = 0,01$ составит 0,947 и 0,928 соответственно. Поскольку эти значения менее $W_{расч.}$ для выборки данных дыхательных ($W_{расч.} > W_{табл.}$; $0,950 > 0,928$) и временных ($W_{расч.} > W_{табл.}$; $0,999 > 0,928$) ресурсов, то нулевая гипотеза о нормальном распределении эмпирических результатов исследования не отклоняется при выбранных уровнях значимости. Данные могут содержать одно или несколько значений, заметно отличающихся

от остальных, поэтому необходимо выяснить причины появления таких значений, то есть определить, случайно или закономерно их появление. В случае если их появление закономерно, необходимо принять соответствующие меры. Если же появление подозрительных значений вызвано случайными причинами, можно оценить по тому или иному статистическому критерию грубых ошибок, являются ли эти значения грубыми погрешностями. Если это грубые погрешности, их необходимо исключить из

результатов генеральной совокупности наблюдений.

Так как полученные данные распределены по нормальному закону, при оценке на грубую ошибку одного значения выборки применим статистику критерия Граббса:

$$t_{расч} = \frac{|x_c - \bar{T}|}{\sigma}, \quad (1)$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\min} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|10 - 16,94|}{6,03} = 1,15,$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\max} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|30 - 16,94|}{6,03} = 2,16,$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\min} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|58 - 103,98|}{27,73} = 1,65,$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\max} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|183 - 103,98|}{27,73} = 2,85.$$

где x_c – сомнительное значение из эмпирической выборки; \bar{T} – эмпирическое среднее; σ – среднеквадратическое отклонение.

Расчетное значение необходимо сравнить с табличным t_α . Если $t_{расч} > t_\alpha$, ре-

зультат x_c считают грубой ошибкой и отбрасывают.

Для выявления грубых ошибок при уровнях значимости $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$ проведем проверку минимального и максимального значений эмпирической выборки, табличные значения которой составляют 2,956 и 3,336 соответственно при $n = 50$.

Применим статистику Граббса для дыхательных ресурсов (*атм*) и временных ресурсов (*с*), подставив полученные значения в (1).

Так как при всех уровнях значимости $t_{расч} < t_\alpha$, принимаем, что в генеральной совокупности эмпирических данных грубых ошибок нет (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Показатели критерия для дыхательных ресурсов			
α	t_α	$t_{расч}$	результат проверки
0,05	2,956	1,15	$t_{расч} < t_\alpha$
		2,16	
0,01	3,336	1,15	$t_{расч} < t_\alpha$
		2,16	
Показатели критерия для временных ресурсов			
α	t_α	$t_{расч}$	результат проверки
0,05	2,956	1,65	$t_{расч} < t_\alpha$
		2,85	
0,01	3,336	1,65	$t_{расч} < t_\alpha$
		2,85	

На основе полученных данных произведем формирование плановых параметров работы при выполнении самоспасания, необходимых для совершенствования системы управления в рамках информационной поддержки лица, принимающего решение. Для этого построим графики интегральных плотностей распределения дыхательных и временных ресурсов (рис. 2).

Произведем синтез информационных ресурсов на основе анализа графиков плотностей распределения дыхательных и временных ресурсов при самоспасании, а полученные результаты, необходимые для решения задач управления безопасностью газодымозащитников, представим в табл. 5.

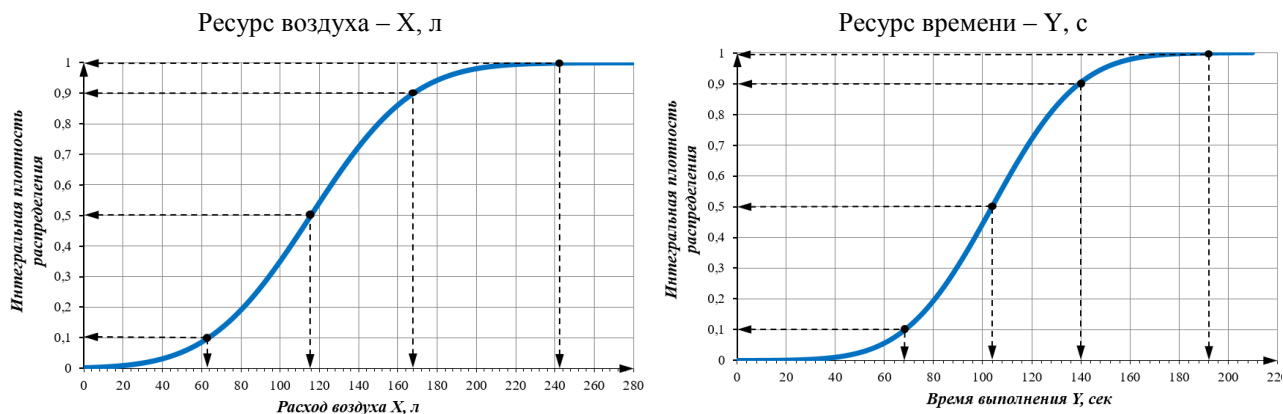


Рис. 2

Таблица 5

X	X1	X2	X3	X4
Распределение вероятностей	0,1	0,5	0,9	0,999
Дыхательные ресурсы, л	64	116	168	242
Y	Y1	Y2	Y3	Y4
Распределение вероятностей	0,1	0,5	0,9	0,999
Временные ресурсы, с	69	104	140	190

Сформированные информационные ресурсы при выполнении элемента работы газодымозащитников позволяют расширить возможности лица, принимающего решение в рамках управления их безопасностью, а именно в полной мере проводить мероприятия по планированию и нормированию параметров работы. Для этих целей на основе совокупности полученных ре-

зультатов исследования сформирована номограмма, содержащая в себе прогнозные параметры дыхательных и временных ресурсов работы газодымозащитников с возможностью выбора необходимого уровня вероятности наступления события (рис. 3 – номограмма для формирования плановых значений параметров работы при выполнении самоспасания).

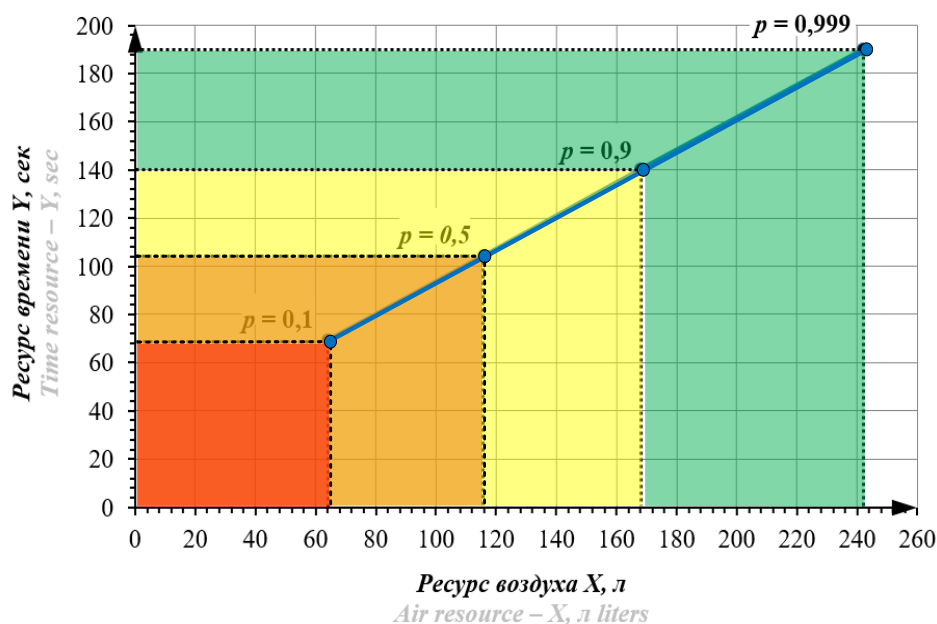


Рис. 3

Анализ номограммы позволяет утверждать, что с величиной риска $\varepsilon = 0,05$ при выполнении самоспасания с 4-го этажа газодымозащитник потратит не более 183 л воздуха (27 атм. при объеме воздушного баллона $V_0 = 6,8$) за 150 с, а с величиной риска $\varepsilon = 0,01$ – не более 211 л воздуха (31 атм. при объеме воздушного баллона $V_0 = 6,8$) за 169 с. Полученные результаты могут быть использованы для планирования действий по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ в условиях непригодной для дыхания среды в рамках теории принятия управленческих решений в условиях риска и неопределенности [13].

ВЫВОДЫ

1. При использовании методов теории принятия решений для планирования боевых действий по тушению пожаров в опасных условиях и в непригодной для дыхания среде необходимо анализировать распределение исходных параметров безопасной работы пожарно-спасательных подразделений, включая газодымозащитников. Генерация и накопление этих данных возможны путем исследования элементарных видов работ, отрабатываемых на практических занятиях, учениях и тренировках в условиях, приближенных к реальному пожару.

2. Анализ генеральной совокупности эмпирических значений, полученных в ходе самоспасания газодымозащитников из окна 4-го этажа учебной башни, доказал нормальность распределения данных, однако полученный интервал значений дыхательных и временных ресурсов имеет достаточно широкий диапазон, что напрямую зависит от количества проводимых исследований.

3. Уменьшение этого диапазона возможно реализовать посредством автоматизации исходного процесса, что позволяет моделировать на основе метода статистических испытаний представление любого

процесса с учетом влияния множества случайных факторов.

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что развитие и расширение информационной базы данных параметров работы газодымозащитников позволит лицу, принимающему решение, осуществлять дополнительный контроль за безопасностью на персонализированном и групповом уровне за счет средств дистанционного мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова В.Р., Чернявский С.В., Васильева Ю.С. Легкая промышленность России в разрезе государственной политики импортозамещения и инновационного развития // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2023. № 63. С. 74...91. – doi: 10.17223/19988648/63/4.
2. Савинов Ю.А., Долженко И.Б. Тенденции развития международной торговли текстилем в эпоху POST-COVID // Российский внешнеэкономический вестник. 2023. № 2. С. 102...112. – doi: 10.24412/2072-8042-2023-2-102-112.
3. Кочетов О.С. Причины возникновения пожаров в текстильной промышленности и методы их профилактики // Современное состояние и перспективы развития научной мысли: сб-к ст. междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: Омега сайнс, 2017. С. 22...24.
4. Сибирко В.И., Гончаренко В.С., Чечетина Т.А., Мартынов В.А. Гибель и травмирование сотрудников и работников пожарной охраны при тушении пожаров в Российской Федерации в 2017-2021 гг. // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. Ч. 1. С. 193...197.
5. Катаргина И.В., Бородина Н.В., Брешина В.Н. Героические поступки сотрудников МЧС России (по материалам НИР «Память») // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО МЧС России, 2019. С. 685...689.
6. Харин В.В., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю., Кондашов А.А., Шавырина Т.А. Оценка профессионального риска и тяжести нарушений здоровья в подразделениях Федеральной противопожарной службы МЧС России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 2. С. 62...69. – doi: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-62-69.
7. Кузьмина О.А., Ломаева Т.А., Фурсов А.И. О некоторых аспектах культуры охраны труда как

одного из методов профилактики гибели и травматизма личного состава МЧС России // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: сб-к материалов седьмого научного семинара. М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. С. 495...504.

8. *Логинов В.И., Дымов С.М., Русанов Д.Ю., Александров А.М.* Выбор канатно-спускных пожарных устройств для спасения людей с высоты // Пожарная безопасность. 2019. № 3(96). С. 85...91.

9. *Мирзаянц А.В., Карева М.Д.* Гибель и травматизм при пожаре в результате падений людей с высоты // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. Ч. 2. С. 522...529.

10. *Казанцев С.Г., Гринченко Б.Б., Катин Д.С., Кузнецов И.А., Суroveгин А.В.* Методика оценки времени выполнения нормативов по профессиональной подготовке пожарных // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 29...40.

11. *Федосов С.В., Гринченко Б.Б., Баканов М.О., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С.* Прогнозирование оперативно-тактических мероприятий при тушении пожаров текстильных предприятий на основе линейно-корреляционной модели // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 145...153. – doi: 10.47367/0021-3497_2023_1_145.

12. *Гринченко Б.Б., Топольский Н.Г., Тараканов Д.В.* Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 5. С. 51...58. – doi: 10.18322/PVB.2019.28.05.51-58.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612223 РФ. Программное средство для оценки параметров работы газодымозащитного оборудования при пожарах и чрезвычайных происшествиях.

REFERENCES

1. *Smirnova V.R., Chernyavsky S.V., Vasilyeva Yu.S.* Light industry of Russia in the context of the state policy of import substitution and innovative development // Bulletin of Tomsk State University. Economy. 2023. No. 63. P. 74...91. – doi: 10.17223/19988648/63/4.

2. *Savinov Yu.A., Dolzhenko I.B.* Trends in the development of international textile trade in the POST-COVID era // Russian Foreign Economic Bulletin. 2023. No. 2. P. 102...112. – doi: 10.24412/2072-8042-2023-2-102-112.

3. *Kochetov O.S.* Causes of fires in the textile industry and methods of their prevention // Current state and

prospects for the development of scientific thought: collection of articles of the international scientific and practical conference. Volgograd: Omega Science, 2017. P. 22...24.

4. *Sibirko V.I., Goncharenko V.S., Chechetina T.A., Martynov V.A.* Death and injury to employees and fire department workers when extinguishing fires in the Russian Federation in 2017-2021 // Fire fighting: problems, technologies, innovations: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2022. Part 1. P. 193...197.

5. *Katargina I.V., Borodina N.V., Breshina V.N.* Heroic deeds of employees of the Ministry of Emergency Situations of Russia (based on materials from the research work "Memory") // Current problems of fire safety: materials of the XXXI International Scientific and Practical Conference. Moscow: All-Russian Order of the Badge of Honor, Research Institute of Fire Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2019. P. 685...689.

6. *Kharin V.V., Bobrinev E.V., Udavtsova E.Yu., Kondashov A.A., Shavyrina T.A.* Assessment of occupational risk and severity of health disorders in units of the Federal Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia // Medical-biological and social-psychological problems of safety in emergency situations. 2021. No. 2. P. 62...69. – doi: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-62-69.

7. *Kuzmina O.A., Lomaeva T.A., Fursov A.I.* On some aspects of the culture of labor protection as one of the methods for preventing death and injury of personnel of the Ministry of Emergency Situations of Russia // Socio-economic aspects of making management decisions: Collection of materials from the seventh scientific seminar. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2023. P. 495...504.

8. *Loginov V.I., Dymov S.M., Rusanov D.Yu., Alexandrov A.M.* Selection of rope-descent fire-fighting devices for rescuing people from heights // Fire safety. 2019. No. 3(96). P. 85...91.

9. *Mirzayants A.V., Kareva M.D.* Death and injury in a fire as a result of people falling from a height // Civil defense on guard of peace and security: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference dedicated to World Civil Defense Day. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. Part II. P. 522...529.

10. *Kazantsev S.G., Grinchenko B.B., Katin D.S., Kuznetsov I.A., Surovegin A.V.* Methodology for assessing the time required to meet standards for professional training of firefighters // Modern problems of civil protection. 2022. No. 4(45). P. 29...40.

11. *Fedosov S.V., Grinchenko B.B., Bakanov M.O., Rumyantseva V.E., Kasyanenko N.S.* Forecasting opera-

tional-tactical measures when extinguishing fires at textile enterprises based on a linear-correlation model // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 1(403). pp. 145...153. – doi: 10.47367/0021-3497_2023_1_145.

12. Grinchenko B.B., Topolsky N.G., Tarakanov D.V. Information resources to support work safety management in non-breathable environments // Pozharovzryvobezopasnost. 2019. T. 28, No. 5. P.51...58. – doi: 10.18322/PVB.2019.28.05.51-58.

13. Certificate of state registration of computer program No. 2020612223 Russian Federation. Software tool for evaluating the parameters of gas smoke protection equipment operation at fires and emergencies. – EDN JPJDSI.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 10.11.23.

УДК 338.24

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_173

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КАК ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ОРГАНИЗАЦИИ

MODELING THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POTENTIAL AS A TOOL FOR MANAGING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AN ORGANIZATION

Н.С. ИВАЩЕНКО

N.S. IVASHCHENKO

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

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

E-mail: suncycle@mail.ru

В статье определена проблема формирования экологического потенциала предприятий и методов его измерения в рамках взятого курса на устойчивое развитие предприятий текстильной и легкой промышленности. Исследовано понятие экологического потенциала. Выделены существующие в литературе подходы к его оценке и отмечено, что речь идет в основном об оценке экологических результатов деятельности организаций. На основании проведенного анализа смоделирована оценка экологического потенциала по трем направлениям: сформированности экологической политики на предприятии, технической и технологической экообеспеченности и получению эффекта в области формирования экологической компоненты устойчивого развития.

The article defines the problem of forming the environmental potential of enterprises and methods of measuring it within the framework of the course taken on the sustainable development of textile and light industry enterprises. The concept of environmental potential has been investigated. The methodology for its assessment highlights the approaches existing in the literature and notes that they are mainly about assessing the environmental results of organizations. Based on the analysis, an assessment of environmental potential was modeled in three areas: the formation of environmental policy at the enterprise, technical and technological eco-provision

and obtaining an effect in the field of forming the environmental component of sustainable development.

Ключевые слова: экологический потенциал, устойчивое развитие, оценка экологичности, экообеспеченность предприятия, экологичное производство.

Keywords: ecological potential, sustainable development, assessment of environmental friendliness, eco-sufficiency of the enterprise, environmentally friendly production.

Введение

Взятый курс на устойчивое развитие ставит перед предприятиями задачи интеграции целей устойчивого развития в бизнес, значительную долю среди которых составляет экологическая компонента: ответственное потребление и производство, борьба с потеплением климата, сохранение экосистем, хорошее здоровье и благополучие и т.д.

Текстильная промышленность является «одной из самых тревожных моделей производства» [1], так как отличается большим потреблением воды и энергии, использованием токсичных материалов, загрязнением сточных вод, тяжелыми условиями производства, вызывающими профессиональные заболевания и т.д. Кроме того, от 5 до 10% массы мировых твердых коммунальных отходов составляют текстильные изделия. Каждый день в мире выбрасывается около 200 000 тонн ненужной одежды, а объем переработанных и обезвреженных отходов отечественной легкой промышленности составляет около 15% от общего годового объема образования отходов по стране [2]. По подсчетам ученых средний срок службы ткани составляет при таком потреблении около 3 лет [3].

Таким образом, несмотря на то, что в текстильной и легкой промышленности сегодня ведется большая работа по внедрению водо- и энергосберегающих технологий, новых видов биоразлагаемого и умного экотекстиля, задачи ответственного производства и потребления стоят все еще очень остро.

Реализация целей устойчивого развития в аспекте его экологической составляющей во многом зависит от того, каким эко-

логическим потенциалом обладают те или иные организации и предприятия. Формируя экологический потенциал, хозяйствующие субъекты создают среду, способствующую сохранению природных ресурсов, обеспечивают нормальные условия работы для членов своего коллектива и выпуск продукции, сохраняющей здоровье и благополучие общества в целом на протяжении всего жизненного цикла продукции.

Однако несмотря на то, что об экологической компоненте устойчивого развития много говорят и пишут, до сих пор понятие экологического потенциала и методы его измерения дискусируются. Чаще речь идет об оценке воздействия бизнеса на окружающую среду, стратегической экологической оценке новых проектов, оценке экологической компоненты устойчивого развития и реже о тех необходимых условиях, которые должны быть обеспечены на предприятии и в организации для минимизации экологических потерь и изыскания внутренних источников устойчивого развития, о том, что создает возможности устойчивого (ответственного) экологического развития. Цель данного исследования заключается в мониторинге существующих подходов к оценке экологического потенциала (ЭП) организации и разработке авторского подхода к его измерению.

Существующие подходы к определению понятия и измерению ЭП

Подход к измерению потенциала и управлению им во многом предопределяется представлением о его сущности. В этом отношении в литературе существуют различные точки зрения и, как правило, речь идет об экологическом потенциале страны или региона, отдельной территории

[4, 5] и меньше внимания уделяется экологическому потенциалу хозяйствующих субъектов рынка [6, 7, 8].

Под экологическим потенциалом подразумевают создание определенной среды, формирующей устойчивость бизнес-экосистемы организации в части производства, потребления и сбыта, задача которой состоит в обеспечении безопасности деятельности и возложении ответственности за характер использования ресурсов. А если говорить об экологическом потенциале предприятий текстильной промышленности, то сюда еще нужно включить и устойчивость экосистемы человека, так как текстильная продукция сегодня рассматривается как «среда обитания человека» [9] и изделия текстильной промышленности во многом формируют условия нашего жизнеобеспечения и здравоохранения.

Бизнес-экосистема любой организации – это общая «среда обитания» людей, внутри которой происходит обмен информацией и ресурсами, совместная эволюция ее членов и подразделений [10, 11], которую отличают ключевые ценности, декларируемые и лежащие в основе бизнеса, ресурсы и характер взаимоотношений с клиентами и партнерами по бизнесу [12]. В случае с экологическим потенциалом речь идет о восприятии коллективом организации экологического мышления, о создании приверженности к ответственному производству и потреблению.

Среди методов оценки экологического потенциала можно выделить следующие:

оценка экологической составляющей потенциала предприятия [7, 13];

интегральная оценка экологического потенциала на основе системы частных показателей [13];

поиск различного рода мультипликаторов при оценке экологического компонента устойчивого развития организации [14];

оценка эффективности экологического менеджмента, базирующаяся на международных стандартах ИСО;

стратегическая экологическая оценка проектов (СЭО);

оценка воздействия проектов на окружающую среду (ОВОС);

рейтинговая оценка экологической составляющей устойчивого развития (ESG-рейтинги).

Авторы делают попытки рассчитать интегральный показатель экологической составляющей устойчивого развития через показатели энергоемкости, концентрации загрязняющих веществ, утилизации отходов; сравнение темпов роста затрат, направленных на ООС и рациональное использование природных ресурсов; показатели платы за негативное воздействие на окружающую среду и т. д.

Оценка менеджмента в области экологического развития, базирующаяся на стандартах ИСО-14001 и ИСО-14031, обеспечивает максимальную гибкость в толковании оценки результатов использования экологического потенциала, так как определяет лишь основные требования к системе экологического менеджмента (СЭМ), в соответствии с которыми она может быть сертифицирована.

При этом особое внимание уделяется необходимости информирования и вовлечения сотрудников в СЭМ, так как в противном случае предлагаемые меры по смягчению негативных последствий могут быть не реализованы. Так, если у сотрудников нет стимула для информирования высшего руководства о проблемах окружающей среды, СЭМ, возможно, не сможет постоянно совершенствоваться [15].

Для ликвидации отсутствия осведомленности сотрудников о влиянии их деятельности на окружающую среду и/или об уровне внедрения процессов экологического менеджмента ряд авторов из Великобритании [16] предлагает проведение оценки эффективности экологического менеджмента (ЕМРА) путем опроса сотрудников. Суть метода – сопоставление результатов опроса сотрудников с разработанной блок-схемой оценки эффективности систем экологического менеджмента.

Классическим исследованием экологической компоненты устойчивого развития является определение воздействия проектов на окружающую среду (ОВОС) и определение стратегической экологической оценки проектов (СЭО). В России проце-

дура ОВОС в отношении любых проектов, связанных с потенциальными экологическими рисками, является обязательной.

В последние годы все чаще стали присваивать ESG-рейтинги (Environmental, Social and Governance), показывающие, насколько эффективно бизнес реализует цели устойчивого развития, в т. ч. в рамках его экологической составляющей. В России это агентства: АКРА, Эксперт РА, НКР, НРА, Репутация. При этом цели, задачи и показатели рейтингов весьма различны, что делает их несопоставимыми.

Результаты и обсуждения

Управление экологическим потенциалом предполагает наличие соответствующего инструментария, к числу которого относится и способ измерения ЭП.

ЭП – понятие комплексное и не может быть измерен каким-то одним показателем, а перечень частных показателей оценки зависит от конкретного профиля и специфики деятельности организаций текстильной и легкой промышленности. Опираясь на существующие в теории подходы к рассмотрению потенциала организации как совокупности ресурсов, условий (факторов) и возможностей, обеспечивающих достижение поставленных целей, сформулируем модель измерения экологического потенциала хозяйствующих субъектов рынка, структура которой включает три основных блока, представленных на рис. 1.

Модель ЭП		
I Сформированность экологической политики организации (входные принципы, ценности, механизмы)	II Техническая и технологическая оснащенность организации для достижения экологической безопасности деятельности	III Результативность и эффективность использования экологического потенциала

Рис. 1

Эффективность формирования и реализации потенциала во многом зависит от степени мотивированности и приверженности компании (ее руководства, сотрудников, потребителей, поставщиков и других ее стейкхолдеров) целям устойчивого развития. Это должно быть отражено в корпоративной культуре, декларировано в качестве корпоративных ценностей и интегрировано в деятельность организации.

Последние годы все чаще говорят о необходимости формирования экологической культуры, а это означает, что рациональное использование ресурсов и охрана окружающей среды должны рассматриваться как важнейшие приоритеты организации. Без этого все затраты могут оказаться малоэффективными и непродолжительными. Действенность, а не просто декларируемость организационных систем обеспечения соответствия экологическим требованиям может быть мощным инстру-

ментом, влияющим на поведение и экологическую результативность предприятия.

Механизмы контроля и учета экологической деятельности, ее стратегическая оценка и система стимулирования в организации должны быть четко проработаны и утверждены, а сотрудники осведомлены, так как рост вовлеченности сотрудников будет неизменно вызывать рост их потребностей в достоверной и понятной информации о достигнутых результатах. В данном блоке определяется, действует ли на предприятии система экологического менеджмента с соответствующей аккредитацией (например, имеется ли сертификат соответствия стандарту ISO-14001); определены ли на предприятии политика, задачи и целевые показатели повышения эффективности в области защиты окружающей среды, существует ли на предприятии подразделение или служба, отвечающие за экологическую чистоту производства и т. д.

Для измерения и получения количественной оценки данного процесса можно использовать метод балльной оценки, а для измерения достигнутого уровня показателя фактическое его значение сравнивается с максимально возможным количеством баллов. Источниками информации в этом случае послужат опросы сотрудников, изучение корпоративной документации, рекомендации стандартов ИСО-14001.

Такая оценка должна способствовать интегрированию экологического менеджмента в бизнес-процессы организации, продемонстрировать лидерство и приверженность высшего руководства экологическому менеджменту.

Второй составляющей модели оценки ЭП является необходимость измерения обеспеченности организации ресурсами для достижения безопасности ее деятельности. Здесь речь идет о наличии в организации безотходных и экологически безопасных технологий для окружающей среды и людей, техник бережливого производства, технологий рециклинга, об отказе от операций и действий, не увеличивающих ценность выпускаемого продукта (оказываемой услуги), о характеристике внутренней среды организации, включая оценку рабочего места, которая может влиять на здоровье сотрудников. Оцениваются условия труда путем анализа процессов, документооборота и опроса сотрудников (применяется балльная оценка). Немаловажное значение с точки зрения определения экологического потенциала имеет и то сырье и материалы, которые организация получает от своих поставщиков.

Третья составляющая характеризует результаты и затраты, связанные с использованием экологического потенциала. Рамочная структура выходных параметров предлагаемой модели оценки экологического потенциала построена с учетом оценки: а) результативности деятельности компании (достижение целей экологического развития); б) целесообразности (соизмерение целей экологического развития с реальными проблемами компании и проблемами региона ее месторасположения); в) экономичности экологического менеджмента. Предложенные показатели для третьего блока оценки ориентированы на основные цели экологической политики текстильных предприятий: снижение загрязнения сточных вод и создание оборотного водоснабжения; сокращение выбросов в окружающую атмосферу, очистка от пыли рабочей среды; экодизайн текстильной продукции (снижение ее негативного воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла). Правда, многие авторы считают, что добиться на данном этапе полностью экологического продукта нельзя, поэтому есть рекомендации относительно применения понятия «экологически предпочтительный продукт», критерием отнесения к которому является наличие экомаркировки или экосертификата, выдаваемых независимым органом после строгой проверки товара на соответствие экологическим требованиям.

Рекомендуемые частные показатели оценки экологического потенциала, сгруппированные в три блока, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Блоки оценки	Показатели
Сформированность экологической политики организации	Интеграция ценностей и целей устойчивого развития в деятельность организации
	Наличие четко проработанных механизмов контроля и учета экологической деятельности
	Степень информированности персонала об экологической политике компании и ее результативности
	Степень вовлеченности персонала в реализацию целей экологического развития (инициативы по очистке и рециклингу и т. д.)
Техническая и технологическая оснащенность в терминах экологической компоненты устойчивого развития	Доля продукции, изготовленной с помощью наилучших доступных технологий, в общем объеме произведенной продукции
	Доля поставок «зеленого» сырья и материалов в общем объеме поставок
	Уровень организации рабочей среды предприятия

Результативность и эффективность экологического менеджмента	Доля экологически чистой продукции в общем объеме произведенной продукции
	Доля оборотного водоснабжения в общем объеме потребляемой воды
	Снижение расхода воды, пара, энергии по отношению к затратам на достижение результата в сравнении с лучшими отраслевыми практиками
	Снижение выбросов загрязненного воздуха в атмосферу по отношению к затратам на достижение результата в сравнении с лучшими отраслевыми практиками
	Соответствие фактического объема средств, выделенных организацией на реализацию экологической политики предприятия, потребности в них
	Затраты на участие в региональных экологических проектах по отношению к объему произведенной продукции в сравнении с лучшими региональными практиками

Система частных показателей оценки экологического потенциала построена таким образом, что максимально достижимая величина каждого показателя и экологического потенциала в целом равняется 1, что означает 100-процентное соответствие экологической среды производства современным требованиям, предъявляемым с учетом поставленных задач формирования устойчивого развития предприятий текстильной и легкой промышленности. Для получения групповых показателей по блокам, а затем интегральной оценки ЭП ($U_{\text{ЭП}}$) можно воспользоваться расчетом среднегеометрической величины по формуле:

$$U_{\text{ЭП}} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n U_{\text{П}j}},$$

где $U_{\text{П}j}$ – групповой индекс j -го блока оценки (рассчитывается как среднегеометрическая оценка частных показателей).

Такой подход позволяет сравнивать экологический потенциал предприятий отрасли и стратегических бизнес-единиц внутри одного предприятия, давать его характеристику в терминах «высокий», «средний», «низкий» и т. д.

ВЫВОДЫ

В современных условиях повышенного внимания к формированию ответственного производства и потребления решение экологических проблем текстильной и легкой промышленности возможно при создании соответствующей экологической среды предприятий, периодический мониторинг

которой нуждается в управленческих инструментах, одним из которых является измерение экологического потенциала.

Представленная в работе модель оценки экологического потенциала структурирует частные показатели по трем направлениям, что характеризует ее как многомерную и комплексную, так как учитываются не только экологические результаты предприятия, но и факторы и условия их достижения, а эффекты отражают основные принципы устойчивого экологического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова А.Ф., Мамедов С.Н., Погодина И.В. Экологические проблемы текстильной промышленности и пути их решения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4 (382). С. 170...174.
2. Zhang Y. Analysis and Study of Low Carbon Clothing Design and Fashion Lifestyle // Journal of Arts & Humanities. 2016. Vol. 5. N 10. P. 23...29.
3. Ставров В.П., Колос А.А., Спиглазов А.В., Карнович О.И., Наркевич А.Л., Калинин А.Н. Технологическая схема и средства переработки текстильных отходов в изделия конструкционного назначения // Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика. Витебск: ВГТУ, 2016. С. 47...54.
4. Абдулова А.А., Джаннаизова В.М. Экологические аспекты охраны и очистки сточных вод // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 6. С. 146...148.
5. Лисиченок Е.П. Теоретико-методические подходы к оценке социо-эколого-экономического потенциала региона // Вестник Полоцкого государственного университета. 2018. Серия Д. №13. С. 36...39.
6. Сумарокова М.А., Павлуцких М.В., Пельков А.А. Оценка экологического потенциала регионов Уральского федерального округа // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. Курган: Курганская ГСХА. 2020. С. 125...128.

7. Борисова М.И., Воронцова Р.Ф. Экологический потенциал предприятия: составляющие, измерители // Природообустройство. 2015. №1. С. 82...85.

8. Щемелева Е.В. Формирование потенциала организации в условиях конкуренции // Конкурентный потенциал региона: оценка и эффективность использования. Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2019. С. 24...26.

9. Киселев А.М. Экологические аспекты процессов отделки текстильных материалов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 1. С. 20...30.

10. Иващенко Н.С., Зернова Л.Е., Мишаков В.Ю., Оленева О.С., Ордынец А.А. Бизнес-экосистема как форма ведения бизнеса: виды, принципы партнерства и направления развития в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1 (397). С. 38...42.

11. Ivashchenko N., Isaeva L. Basic principles of partnership as the factor of sustainable development in the context of business ecosystems // E3S Web of Conferences 291, 08005 (2021).

12. Иващенко Н.С. Бизнес-модель устойчивого развития: сущность и принципы формирования // Экономические механизмы стратегического управления развитием промышленности. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. С. 38...44.

13. Гунькова А.Г., Холопов Ю.А., Пурьгин П.П. Оценка перспектив и эффективности внедрения системы экологического менеджмента с позиции комплексного анализа потенциала предприятия // Экономика и экологический менеджмент. 2018. №1. С. 126...136.

14. Имамвердиева М.И. Применение метода мультипликатора при оценке экологического компонента устойчивого развития организации // Фундаментальные исследования. 2022. № 2. С. 16...22.

15. Michaela A. Balzarova M.A., Castka P. Journal of Cleaner Production, 16, 18, (2008).

16. Ladyman M., Gutierrez-Carazo E., Persico F., Temple T. Open Access Published Heliyon (Elsevier Science Publishing Company, Inc.): March 22, 2022.

REFERENCES

1. Baranova A.F., Mamedov S.N., Pogodina I.V. Ecological problems of the textile industry and ways of their solution // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. № 4 (382). P. 170...174.

2. Yan Zhang. Analysis and Study of Low Carbon Clothing Design and Fashion Lifestyle / Yan Zhang, Rong-rong Xu // Journal of Arts & Humanities. 2016. Vol. 5. N 10. P. 23...29.

3. Stavrov V.P., Kolos A.A., Spiglazov A.V., Karpovich O.I., Narkevich A.L., Kalinka A.N. Technological scheme and means of processing textile waste into products for structural purposes // Processing of textile and light industry waste: theory and practice. Vitebsk: VGTU. 2016. P. 47...54.

4. Abdulova A.A., Janpaizova V.M. Ecological aspects of protection and treatment of wastewater //

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2013. № 6. P. 146...148.

5. Lisichenok E.P. Theoretical and methodological approaches to the assessment of social-ecological-economic potential of the region // Vestnik of Polotsk State University. 2018. Series D. №13 P. 36...39.

6. Sumarokova M.A., Pavlutsikh M.V., Pelkov A.A. Assessment of the ecological potential of the regions of the Ural Federal District // Achievements and prospects of scientific and innovative development of agroindustrial complex. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy, 2020. P. 125...128.

7. Borisova M.I., Vorontsova R.F. Ecological potential of the enterprise: components, measurers // Prirodoobustroystvo. 2015. №1. P. 82...85.

8. Shchemeleva E. V. Formation of the organization's potential in the conditions of competition // Competitive potential of the region: evaluation and efficiency of use. Abakan: Khakassky State University named after N.F. Katanov. N.F. Katanov, 2019. P. 24...26.

9. Kiselev A.M. Ecological aspects of processes of finishing of textile materials // ROS. chem. zh. (Zh. Ros. khim. obs-obov. named after D.I. Mendeleev). 2002. Vol. XLVI. No. 1. P. 20...30.

10. Ivashchenko N.S., Zernova L.E., Mishakov V.Y., Oleneva O.S., Ordynets A.A. Business-ecosystem as a form of doing business: types, principles of partnership and directions of development in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 1 (397). P. 38...42.

11. Ivashchenko N., Isaeva L. Basic principles of partnership as the factor of sustainable development in the context of business ecosystems // E3S Web of Conferences 291, 08005 (2021).

12. Ivashchenko N.S. Business model of sustainable development: essence and principles of formation // Economic mechanisms of strategic management of industrial development. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin, 2021. P. 38...44.

13. Gun'kova, A.G.; Kholopov, Yu.A.; Purygin, P.P. Assessment of prospects and efficiency of the environmental management system implementation from the position of complex analysis of the enterprise potential // Economics and Environmental Management. 2018. №1. P. 126...136

14. Imamverdieva M.I. Application of the multiplier method in assessing the environmental component of sustainable development of the organization // Fundamental researches. 2022. № 2. P. 16...22.

15. Michaela A. Balzarova M.A., Castka P. Journal of Cleaner Production, 16, 18, (2008).

16. Ladyman M., Gutierrez-Carazo E., Persico F., Temple T. Open Access Published Heliyon (Elsevier Science Publishing Company, Inc.): March 22, 2022.

Рекомендована кафедрой коммерции и сервиса РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 18.12.23.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ТОРКРЕТ-БЕТОНА
КАК ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КОНСТРУКЦИЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**INVESTIGATION OF THE SHOTCRETE DESTRUCTION
AS A PROTECTIVE COATING FOR STRUCTURES
OF CONSTRUCTION FACILITIES IN THE TEXTILE INDUSTRY**

У.А. НОВИКОВА¹, К.В. СТРОКИН¹, И.А. КРАСИЛЬНИКОВА²

U.A. NOVIKOVA¹, K.V. STROKIN¹, I.A. KRASILNIKOVA²

¹Сахалинский государственный университет,
²Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

(¹Sakhalin State University,
²Vladimir State University)

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, uliana.a.novikova@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, irinanebukina@rambler.ru

В статье рассматривается проблема коррозионной стойкости строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности. Предложено в качестве защитного покрытия как новых, так и ремонтируемых зданий на предприятиях текстильной отрасли использовать торкрет-бетонные покрытия. Разработана рецептура пяти составов торкрет-бетона, состоящего из основного и дополнительного вяжущего, заполнителей и ускорителей твердения. Исследованы размер и характер пор изготовленных образцов, развитие деструкции по изменению массы и прочности. Для прогнозирования долговечности торкрет-бетонных покрытий определены коэффициенты диффузии.

The article deals with the problem of corrosion resistance to building structures of all textile and light industry enterprises. It is proposed to use shotcrete concrete coatings as a protective coating for both new and renovated buildings at industry enterprises. A formulation has been developed for 5 compositions of shotcrete, consisting of a basic and additional binder, fillers and hardening accelerators. The size and nature of the pores of the manufactured samples, the development of destruction by changes in mass and strength are investigated. Diffusion coefficients have been determined to predict the durability of shotcrete coatings.

Ключевые слова: торкрет-бетон, долговечность, диффузия, ускорители твердения, прочность, пористость, ремонтные покрытия.

Keywords: shotcrete, durability, diffusion, hardening accelerators, strength, porosity, repair coatings.

К строительным конструкциям всех предприятий текстильной и легкой промышленности предъявляются высокие требования по коррозионной стойкости приме-

няемых материалов [1]. Это условие необходимо для обеспечения прежде всего требуемого уровня промышленной безопасности данных объектов [2]. Проектирование

долговечности железобетонных конструкций традиционно основывается на установленных правилах и требованиях к характеристикам материалов, к качеству их составляющих, к условиям работы конструкции с учетом требований, отраженных в действующих отечественных нормативных документах и ряде документов зарубежных стран. Очевидна естественная связь между качеством сооружения и его сроком службы [3].

Анализ результатов натуральных обследований, проектных материалов и экспертный опрос специалистов позволяют заключить, что интенсивному воздействию агрессивных, в том числе сульфат- и хлоридсодержащих, сред подвергается до 75 % инженерных конструкций предприятий текстильной промышленности [4]. После длительной эксплуатации в агрессивных условиях защитный слой железобетонных конструкций разрушается (рис. 1). Особенно интенсивно процессы деструкции происходят в конструкциях цехов с влажным воздухом, сооружениях, подверженных воздействию агрессивных жидкостей, подземных конструкциях [5].



Рис. 1

Одним из прогрессивных способов выполнения бетонных работ является метод торкретирования. Торкретирование целесо-

образно в тех случаях, когда необходимо бетонировать строительные конструкции сложной конфигурации и незначительной толщины, при возведении которых возникают трудности, связанные с уплотнением бетонных смесей вибраторами, и требуются значительные затраты на изготовление опалубки, а также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по коррозионной стойкости, водонепроницаемости и морозостойкости [6]. Особенно эффективно применение торкретбетона при сооружении пространственных конструкций покрытий зданий (куполов, оболочек), резервуаров различного типа и назначения, элементов наружных трехслойных конструкций производственных зданий с эффективным утеплителем, в качестве облицовки небольших водопропускных сооружений, поверхностей каналов и т.д.

Применение торкретирования для ремонта и усиления поврежденных конструкций предприятий текстильной промышленности является наиболее эффективным и нередко единственно возможным способом [7...9].

Целесообразен поиск решения проблемы прогнозирования долговечности бетонных и железобетонных конструкций в агрессивных средах, поскольку своевременная их защита позволит значительно сократить экономический ущерб от последствий коррозионных разрушений, повысить надежность конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности, снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций. Необходимо фокусировать исследования на расширении комплекса прочностных и антикоррозионных свойств железобетона в соответствии с множеством вариантов его применения. В связи с вышеизложенным представленная работа является актуальной [10, 11].

На основании аналитического обзора научно-технической, нормативной и методической литературы по применению торкретбетона разработана программа исследований, в основу которой положен подбор составов и изготовление торкретбетона с заданными физико-механическими свойствами. По результатам определения

прочности при сжатии выбраны оптимальные составы и изготовлены образцы торкрет-бетона для изучения коррозионных свойств [12...14].

Для назначения торкрет-бетона в качестве защиты железобетонных конструкций от агрессивных воздействий среды необходимы данные о его сульфатостойкости и проницаемости для хлоридов как наиболее агрессивных сред. Недостаточная изученность коррозионных свойств торкрет-бетона ограничивает области его применения не только для бетонирования новых конструкций, но и для ремонтных работ [15...18].

Для исследования разработана рецептура пяти составов смеси для изготовления торкрет-бетона (табл. 1). Смеси изготавливались из портландцемента марки ПЦ 500-Д0-Н, крупного и мелкого заполнителей, ускорителя твердения ($\text{NaAlO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и воды. В двух образцах портландцемент был частично заменен кремнеземом и золой-уноса. Исследования проводились на образцах с размерами 10x10x10 см, изготовленных с различным водоцементным отношением.

Т а б л и ц а 1

Материалы	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Портландцемент, кг	464	464	464	418	418
Зола, кг				46	
Кремнезем, кг					45
Крупный заполнитель – щебень, кг	907	907	907	907	907
Мелкий заполнитель – песок, кг	890	890	890	890	890
Ускоритель – $\text{NaAlO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, кг	10,55	10,55	10,55	10,55	10,55
Вода, кг	162,4	208,8	255,2	208,8	208,8
В/Ц	0,35	0,45	0,55	0,45	0,45

После 28 дней первоначального отверждения образцы торкрет-бетона погружали в агрессивные солевые водные растворы, содержащие 5% (мас.) только сульфата натрия и 5% (мас.) хлорида натрия. Все растворы обновлялись ежемесячно, а показатель pH контролировался в диапазоне 6,0...8,0 путем титрования разбавленными растворами серной кислоты через регулярные промежутки времени (15 дней).

Для изучения свойств, структуры и состава исследуемых в работе материалов (твердой и жидкой фазы) до и после воздействия агрессивной солевой среды проведены экспериментальные исследования с применением методов химического и физико-химического анализа: методики определения плотности, водопоглощения, пористости и прочности цементного камня; анализа распределения пор по размеру; рентгенографического анализа; дифференциально-термического анализа; количественного анализа катионов кальция; электрометрического метода для измерения водородного показателя pH среды; прямого титрования.

Распределение пор по размерам различных торкретбетонных смесей, измеренное с помощью ртутного порозиметра AutoPore IV 9520, показано на рис. 2.

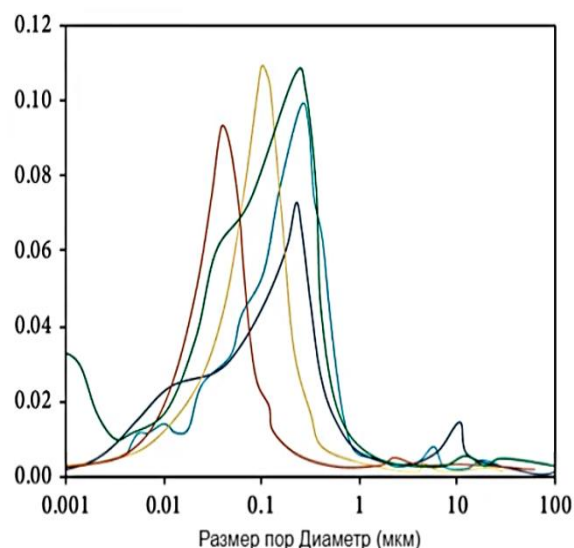


Рис. 2

Смешанные бинарные связующие с добавлением золы или кремнезема имеют более мелкую структуру пор по сравнению с обычными связующими, изготовленными

только на портландцементе с ускорителем твердения. Общий объем пор различных образцов распределен следующим образом: №1,2,3 > №4 > №5. Для образцов №1,2,3 более низкое соотношение В/Ц приводит к меньшему объему внедренных пор. Смеси, изготовленные с соотношением В/Ц 0,35, обладают наименьшим объемом внедренных пор. Кроме того, смеси, содержащие 10% кремнезема, имеют большой объем мелких пор.

После 10 месяцев непрерывного полного погружения в оба солевых раствора все образцы торкрет-бетона остались визуально неповрежденными, за исключением образцов, содержащих 10% кремнезема. Образцы, модифицированные золой-уноса, продемонстрировали лучшую устойчивость к повреждению поверхности по сравнению с другими образцами. Это может быть связано с расходом гидроксида кальция в пуццолановых реакциях, в то время как он является наиболее уязвимым компонентом при попадании сульфат-ионов [17]. Между тем этот процесс может повысить компактность торкрет-бетона, тем самым улучшая проницаемость и пористость. Такой эффект измельчения может уменьшить образование вредных соединений, таких как эттрингит и гипс. Высокое содержание оксида алюминия и низкое содержание трехкальциевого алюмината в образцах с золой-уноса не способствовало образованию эттрингита.

Однако разрушение поверхности образца с кремнеземом было наиболее интенсивным, что свидетельствует о наихудшей стойкости к сульфатному воздействию по сравнению с другими. Такое поведение обусловлено тем, что низкое содержание оксида алюминия (Al_2O_3) благоприятствовало образованию таумасита ($CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$) в образцах с кремнеземом, что подтверждается рентгенографическим анализом. Поскольку рентгенограмма таумасита аналогична рентгенограмме эттрингита, некоторые основные пики почти перекрываются, такие как пик $16^\circ 2\theta$. Таким образом, мы должны идентифицировать таумасит по некоторым слабым пикам, таким как $26^\circ 2\theta$ и $28^\circ 2\theta$.

Установлено, что хлорид может смягчать химическое сульфатное воздействие на материалы на основе цемента [16]. Поскольку способность к проникновению свободных хлорид-ионов выше, чем у сульфат-ионов, хлорид может сначала соединиться с C_3A и гидроксидом кальция с образованием соли Фриделя ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) до поступления сульфата. Данные соединения могут блокировать микропоры и трещины в системе, задерживая или смягчая сульфатное воздействие на торкрет-бетонную массу.

Способность связывания хлорид-ионов может быть значительно улучшена благодаря большему содержанию гелей C-S-H (гидратированный силикат кальция) в связующих для летучей золы. Свободные хлорид-ионы могут связываться C-S-H или C-A-H (гидратированный алюминат кальция) с образованием соли Фриделя, блокируя таким образом микропоры. В результате сульфатное воздействие на торкрет-бетон может быть уменьшено в присутствии хлорида.

Торкрет-бетонные смеси, изготовленные на бинарных связующих, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента, могут способствовать сульфатному воздействию на торкрет-бетон независимо от присутствия хлорида.

Добавление золы-уноса в качестве частичной замены портландцемента оказалось действенной контрмерой для снижения степени износа поверхности. Кроме того, одновременное применение хлоридов в сульфатных растворах может смягчить вызванное сульфатами разрушение торкрет-бетона из-за эффекта блокирования, вызванного предыдущей формой соли Фриделя.

Все образцы торкрет-бетона, погруженные в растворы солей, страдали от потери прочности, что указывало на развитие деструкции (табл. 2). Максимальная потеря прочности наблюдалась у образцов, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента. Полученный результат явился прогнозируемым, поскольку образование таумасита, наряду с эттрингитом и гипсом, серьезно ухудшило коррозионную стойкость. Очевидно,

что частичная замена портландцемента золой-уноса продемонстрировала превосходную производительность при сульфатном

или сульфатно-хлоридном воздействии по сравнению с другими смесями.

Т а б л и ц а 2

	Изменение массы, %		Изменение прочности при сжатии, %	
	Na ₂ SO ₄	Na ₂ Cl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ Cl
Образец №1	1,04	0,73	-5,51	-2,83
Образец №2	1,56	1,21	-7,12	-4,31
Образец №3	2,13	1,78	-9,81	-7,12
Образец №4	0,61	0,42	-1,83	-0,71
Образец №5	-0,71	-0,22	-15,26	-10,6

Таким образом, использование диоксида кремния в качестве частичной замены портландцемента не подходит для торкрет-бетона в средах, содержащих сульфаты. Кроме того, образцы в растворах хлоридов показали меньшую потерю прочности, чем образцы в растворах сульфатов. Эти результаты согласуются с результатами массового и визуального контроля, а также с результатами аналогичных исследований, выполненных другими учеными [14...17].

Скорость коррозии образцов определяется диффузией сульфатов и хлоридов. Метод определения диффузионной проницаемости торкрет-бетона для хлоридов основан на аналогии между диффузионным потоком вещества и электрическим током в теле бетона. Результаты определения диффузионной проницаемости для хлоридов водонасыщенных образцов сухого торкрет-бетона приведены табл. 3.

Т а б л и ц а 3

	SO ₄ ²⁻		Cl ⁻	
	на 30 сутки	на 180 сутки	на 30 сутки	на 180 сутки
Образец №1	3,3·10 ⁻¹²	2,7·10 ⁻¹²	4,5·10 ⁻¹²	3,8·10 ⁻¹²
Образец №2	4,2·10 ⁻¹²	3,5·10 ⁻¹²	7,1·10 ⁻¹²	5,7·10 ⁻¹²
Образец №3	5,8·10 ⁻¹²	4,6·10 ⁻¹²	11,6·10 ⁻¹²	8,9·10 ⁻¹²
Образец №4	1,2·10 ⁻¹²	1,1·10 ⁻¹²	1,3·10 ⁻¹²	1,2·10 ⁻¹²
Образец №5	10,5·10 ⁻¹²	7,8·10 ⁻¹²	18,7·10 ⁻¹²	13,4·10 ⁻¹²

Диффузионная проницаемость торкрет-бетона для хлоридов и сульфатов со временем по мере гидратации цемента и уплотнения бетона снижается.

Полученные результаты коррозионных испытаний позволяют рассматривать торкрет-бетон в качестве эффективной защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.

ВЫВОДЫ

1. Выполненный анализ проблемы долговечности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде предприятий текстильной и легкой промышленности, показал высокую значимость данных исследований и эффективность применения торкрет-бетонных покрытий.

2. Установлено, что образцы, модифицированные золой-уноса, продемонстрировали лучшую устойчивость к повреждению поверхности по сравнению с другими образцами. Высокое содержание оксида алюминия и низкое содержание трехвалентного алюмината в образцах с золой-уноса не способствовало образованию этtringита.

3. В целом все образцы торкрет-бетона, погруженные в растворы солей, страдали от потери прочности, что указывало на износ и повреждения. Максимальная потеря прочности наблюдалась у образцов, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента.

4. Выявлено, что использование диоксида кремния в качестве частичной замены портландцемента не подходит для торкрет-бетона в средах, содержащих сульфаты. Кроме того, образцы в растворах хлоридов

показали меньшую потерю прочности, чем образцы в растворах сульфатов. Эти результаты согласуются с результатами массового и визуального контроля, а также с результатами аналогичных исследований, выполненных другими учеными.

5. Полученные результаты коррозионных испытаний позволяют рассматривать торкрет-бетон в качестве эффективной защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В.* Эксплуатационная безопасность кирпичных наружных стен предприятий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 201...208.

2. *Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А., Новикова У.А., Строкін К.Б.* Изменение несущей способности строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 218...227.

3. *Травуш В.И., Гурьев В.В., Дмитриев А.Н., Дорофеев В.М., Волков Ю.С.* О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 121...133.

4. *Римшин В.И., Лукин М.В., Рева Д.В., Рощина С.И.* Повышение энергоэффективности вспомогательных зданий текстильной промышленности за счет продления цикла жизнедеятельности сборных композитных стеновых панелей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6 (408). С. 203...213.

5. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А.* Исследования физико-химических процессов в системе «цементный бетон – жидкая агрессивная среда» // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 61...70.

6. *Степанова В.Ф., Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Баев С.М.* Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 69...73.

7. *Гусев Б.Н., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А., Лысова М.А.* Обеспечение качества технического текстиля для производства строительных изделий на различных этапах жизненного цикла // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 69...78.

8. *Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гриценко Е.А., Гусев Б.Н.* Обеспечение необходимого уровня качества технического текстиля с учетом требований специалистов строительной отрасли // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4 (406). С. 96...102.

9. *Лысова М.А., Коробов Н.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.* Компьютерное исследование процесса коагуляции нетканых геотекстильных полотен при дренировании объектов строительства // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 113...117.

10. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Караваев И.В.* Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 6 (372). С. 268...276.

11. *Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Ouan Z., Zhao S. and Niu L.* The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*. 2000. vol. 42. issue 10. pp. 1669-1683. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)

12. *Yang Z., Li Q., Liu M. etc.* Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17. e01509. – DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01509

13. *Fedosov S.V., Bulgakov B.I., Krasilnikov I.V., Hung N.X., Lam T.V.* Forecast of the durability of shore structures made of reinforced concrete // *Solid State Phenomena*. 2022. Т. 334. С. 217...224.

14. *Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A.* Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // *Construction and Building Materials*, 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879

15. *Smirnova N.N. Krasil'nikov I.V.* An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Т. 92. № 11. С. 1570...1580. – DOI: 10.1134/S1070427219110144

16. *Fedosov S., Roumyantseva V., Krasilnikov I., Krasilnikova I.* Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Т. 403 LNNS. С. 1362...1370. – DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_152

17. *Chukhlanov V., Smirnova N., Krasilnikova I., Chukhlanova N.* Heat-conducting and dielectric characteristics of polyorganosiloxane composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2023. № 6 (122). С. 12203.

18. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konvalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 7 (83). С. 198...207. – DOI: 10.18720/MCE.83.18

REFERENCES

1. *Korol E.A., Kustikova Yu.O., Shenbereva A.V.* Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 3 (405). pp. 201...208.

2. *Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A., Novikova U.A., Strokin K.B.* Changing the bearing capacity of building structures of textile and light industry enterprises // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 2 (404). pp. 218...227.
3. *Travush V.I., Guryev V.V., Dmitriev A.N., Dorofeev V.M., Volkov Yu.S.* About the concept of development of the regulatory and technical base of construction objects during their operation // *Academia. Architecture and construction*. 2021. No. 1. pp. 121...133.
4. *Rimshin V.I., Lukin M.V., Reva D.V., Roshchina S.I.* Improving the energy efficiency of auxiliary buildings of the textile industry by extending the life cycle of prefabricated composite wall panels // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 6 (408). pp. 203...213.
5. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A.* Research of physical and chemical processes in the system "cement concrete – liquid aggressive environment" // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 7. P. 61...70.
6. *Stepanova V.F., Rosenthal N.K., Chekhov G.V., Baev S.M.* Determination of corrosion resistance of shotcrete as a protective coating of concrete and iron-concrete structures // *Building materials*. 2018. No. 8. pp. 69...73.
7. *Gusev B.N., Matrokhin A.Yu., Gruzintseva N.A., Lysova M.A.* Quality assurance of technical textile for the manufacture of building products at different stages of the life cycle *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. No. 2 (404). pp. 69...78.
8. *Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gritsenko E.A., Gusev B.N.* Ensuring the required level of technical textile quality taking into account the requirements of specialists of construction industry // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. No. 4 (406). pp. 96...102.
9. *Lysova M.A., Korobov N.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N.* Computer study of the process of colmatation of nonwoven geotextile fabrics during draining of construction objects // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2021. No. 2 (392). pp. 113...117.
10. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Karavaev I.V.* Determination of the resource of safe operation of concrete structures containing hydrophobic additives // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2017. № 6 (372). pp. 268...276.
11. *Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Ouan Z., Zhao S. and Niu L.* The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*. 2000. vol. 42. issue 10. pp. 1669...1683. – [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)
12. *Yang Z., Li Q., Liu M. etc.* Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17. e01509. – DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01509
13. *Fedosov S.V., Bulgakov B.I., Krasilnikov I.V., Hung N.X., Lam T.V.* Forecast of the durability of shore structures made of reinforced concrete // *Solid State Phenomena*. 2022. T. 334. p. 217...224.
14. *Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A.* Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO2 corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // *Construction and Building Materials*, 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879
15. *Smirnova N.N. Krasil'nikov I.V.* An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. T. 92. № 11. P. 1570...1580. – DOI: 10.1134/S1070427219110144
16. *Fedosov S., Roumyantseva V., Krasilnikov I., Krasilnikova I.* Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. T. 403 LNNS. P. 1362...1370. – DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_152
17. *Chukhlanov V., Smirnova N., Krasilnikova I., Chukhlanova N.* Heat-conducting and dielectric characteristics of polyorganosiloxane composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2023. № 6 (122). P. 12203.
18. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 7 (83). P. 198...207. – DOI: 10.18720/MCE.83.18

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 11.02.24.

УДК 677.851.1.001.76

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_187

**BORROWING OF ORNAMENTAL ELEMENTS
IN ARTISTIC DESIGN OF TEXTILE PRODUCTS**

**ЗАИМСТВОВАНИЕ ОРНАМЕНТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОФОРМЛЕНИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

B.P. TOREBAEV, A.R. KADIROV, A.T. AYNABEKOV, B.S. NISANBAEV, M.S. MEIRMANOV

Б.П. ТОРЕБАЕВ, А.Р. КАДЫРОВ, А.Т. АЙНАБЕКОВ, Б.С. НЫСАНБАЕВ, М.С. МЕЙРМАНОВ

(Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M. Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: b.torebaev@ mail.ru

Исследование посвящено заимствованию орнаментальных элементов в художественном оформлении текстильных изделий. В статье приведены материалы по эволюции текстильных традиций в Центральной Азии, которая происходила во взаимосвязи с текстильным искусством сопредельных регионов. Проанализированы орнаментальные элементы, созданные среднеазиатскими художниками текстильного рисунка, показывающие включение в местные композиции мотивов рисунков Китая, Монголии, Индии, арабского и персидского регионов. В статье также анализируются вопросы производства хлопчатобумажных тканей русских фабрикантов с учетом вкусов восточного населения, равно как и отличительные особенности их тканей, ввозимых в Среднюю Азию.

Сделан вывод, что, вдохновляясь композиционными, колористическими решениями, ритмическими движениями и выразительной пластикой, современные художники текстильного рисунка могут заимствовать различные интересные орнаментальные элементы. На Ташкентской текстильной фабрике наряду с узором пышных цветов, выполненным в традициях ивановских тканей, созданы новые красочные узоры под влиянием не только узбекских народных орнаментов, но и абровых тканей, набоек, керамики, росписи и т. д. Обработка этих «чужих» мотивов требует серьезного творческого подхода. Основа успешно обработанных материалов, соответствующих вкусам человека нашего времени, позволяет создать серию инновационных текстильных моделей. В конечном итоге все эти так называемые «нетекстильные узоры» могут приобрести новые черты в дизайне современного текстиля.

The article has relevance, significant scientific novelty and practical significance. The study is devoted to the borrowing of ornamental elements in the decoration of textiles. The article presents materials on the evolution of textile traditions in

Central Asia, which occurred in conjunction with the textile art of neighboring regions. The authors analyze ornamental elements created by Central Asian textile artists, showing the inclusion of motifs of drawings from China, Mongolia, India, the Arab and Persian regions in local compositions. The article also analyzes a significant video modification of the plot composition, as well as the issues of the production of cotton fabrics of Russian manufacturers, taking into account the tastes of the Eastern population, as well as the distinctive features of their fabrics made and imported into Central Asia.

The authors come to the conclusion that being inspired by compositional, coloristic solutions, rhythmic movements and expressive plasticity, modern textile artists can borrow various interesting ornamental elements in their work. At the Tashkent textile factory, along with the pattern of lush flowers made in the traditions of Ivanovo fabrics, new colorful patterns have been created, inspired not only by Uzbek folk ornaments, but also by abrov fabrics, prints, ceramics, paintings, etc. But in the endless constructions of rapports, the processing of these "alien" motives requires a serious creative approach. The basis of successfully processed materials corresponding to the views of a person of our time allows us to create a series of innovative textile models. Ultimately, all these so-called "non-textile patterns" can acquire new features in the design of modern textiles.

Keywords: “Cypress” and “palmette” motifs, calligraphic ornament, fabric-carpet pattern, croc, “guli-chinni”, “guli kashkari”, “nalyak” pattern, “cashmere” type, “oriental cucumber”, “chelyabi”, frescoes of Afrasiab and Penjikent.

Ключевые слова: мотив «кипарис» и «пальметты», каллиграфический орнамент, тканево-ковровый узор, крок, «гули-чинни», «гули-кашкари», узор «наляк», «кашемировский» тип, «восточный огурец», «челяби», фрески Афросиаба и Пенджикента.

Borrowing of ornamental elements in artistic design of textile products has a long history. In the XI-XII centuries, carpet products of nomadic Turkic tribes that settled in the Great Steppe were highly valued, which at that time were already a new type of art. Masters of patterned fabrics of Transoxiana did not generally abandon their art, but using some of their motifs, subjected them to their own processing [1, p. 264...265].

Inhabitants of Sogdiana, together with Turks, created a new state – the Great Turkic Khaganate, which became the first real Eurasian empire. During the reign of Turks in Eurasia, a school of unique textile craft developed. It stood out among the synchronous oriental cultures by the nature of the basis. The essence of this developed original style is in a harmonious creative combination of local artistic traditions with elements of a wide range of cul-

tures of the peoples of Western and Central Asia.

Inspired by oriental exotics, the artists of the Renaissance, often without real samples in front of them, were forced to create original pseudo-oriental ornaments with the help of their imagination. At the same time, they created patterns based on the study of authentic Chinese, Indian, Bukhara and Khwarazm fabrics.

An analysis of the ornamental elements created by Central Asian textile artists shows the inclusion in their compositions of motifs of patterns from China, Mongolia, India, as well as Persian and Arab world. For example, “palmette” is often found among floral ornaments – a particularly well-known ornamental theme that adorns Kashmirian capes, and a cypress branch becomes the main dominant of such an ornament. Ancient masters of Persian textile

art left a legacy of masterpieces, including patterned fabrics, which are today included in the List of World Cultural Heritage.

The cypress motif, with its inflexibility and evergreen color, probably came from Persia and became popular in Central Asia in the XV century [2, p. 57]. However, in the textile design of this region of the XVII and XVIII centuries, remnants of Persian influence are clearly visible. For example, the floral motif is interpreted close to Persian, but the colors here are more contrasting.

On the basis of Persian, Byzantine and somewhere even Greco-Roman art in the Middle Ages, a new type of patterned floral ornament arose in Arab world, called “islimi” – a combination of bindweed and spiral. Including an endless variety of options, this motif has become one of the most common floral ornaments in Central Asia. It eventually dominated the design of the clothes of the peoples of this region [3, p. 70].]

In medieval Europe, the oriental geometric ornament and the Arabic bizarre pattern of plant forms – the arabesque – became popular. One of the features of this decor is “carpet ornamentation”, in which the pattern covers the entire surface of the object. If among the varieties of oriental ornaments, Persian patterns are more stylized and decorative, then Turkish patterns are more realistic, i.e. closer to nature.

The traditions of the production of fabrics and their ornamentation in the XI-XIII centuries were a direct continuation of the traditions that had been formed in the pre-Islamic period. “Fabrics”, as L.I. Rempel specifies, “were the main conductor of ornaments and due to them, similar patterns spread throughout the Middle East everywhere” [4].

The evolution of textile traditions in Central Asia took place in conjunction with the ornamental art of neighboring regions. It is no coincidence that individual folk ornaments of Central Asian peoples are very similar to the patterns of the peoples living in the neighborhood, only they have different names. For example, “yulduz” (star) is called among Kazakhs and Kara-Kalpaks “omyrtka” (spine); Kazakh “kynyr muyiz” (curved horn) among Ferghana Kirghiz is called “tuya muyin” (camel neck) [5, p. 29].

Of great importance in Kazakh life were those made in the technique of narrow beam weaving – “alasha”. Consisting on several woven panels sewn to each other, which were framed by a narrow edge, they covered the floor, decorated the walls of the dwelling. Perhaps this type of carpet is the simplest not only in terms of weaving technique, but also in terms of ornamental composition in terms of rhythm and color (Fig. 1 – “Alasha” made in the technique of narrow beam weaving. Illustration from the book by U. Dzhanibekov “Culture of Kazakh craft”

Alma-Ata: Oner, 1982, p. 85). [5, p. 66]. Dense and very heavy, these fabrics were considered unsuitable for tailoring. However, modern Kazakh designers successfully use them in their clothing collections for the autumn-winter season (Fig. 2 – Models in dresses made of “alasha” fabric. The author of the collection is Beisbekov B.B. Illustration from the photo album National clothes (Almaty, 2018, p. 8, 11).



Fig. 1



Fig. 2

The most common stylized floral patterns in textiles were the famous “indienne” – an intricate ligature of loaches, poppy flowers, pepper pods, the traditional “tree of life” or “gulistan” – a flowering garden. In dresses of Central Asian girls of the late 60-70s of the XVII century, there is a deeper penetration of Indian fashions, which are now connected not only with jewelry, but also with patterned fabrics in a small pattern. The design of fabrics imported from India had beautiful floral motifs: pomegranate flowers, lotuses, carnations, tulips of more contrasting and bright colors. Similar patterns have established themselves in the design of Iranian, Bukhara and Turkish fabrics coming to Russia.

In European fabrics of the XVIII century, it is often possible to find exactly copied patterns of Kashmirian shawls. For the first time, the so-called “oriental cucumber”, widely known for the decor of Kashmirian shawls and fabrics, began to be printed onto a fabric in India or Persia. In the course of time, “oriental cucumber” came to Europe. In Russia, this pattern first appeared on Pavlovian shawls.

Since the XVIII century, traditional sateen was made in Ivanovo region with patterns not only of “oriental cucumbers”, but also of “beans” and “chelyabi” – shamrocks. The extraordinary graphic subtlety of the development of floral and plant motifs, woven into intricate patterns within individual forms, amazed with artistic skill. Exotic flowers and fruits were processed into forms closer and more understandable to their people. Thus, “cashmere” type patterns, which were very fond of, naturally became traditional for Russian calico printing.

In 1800, in the Scottish city of Paisley, the production of a fabric with a bright, colorful, similar drop-shaped pattern began (hence the name – “Paisley pattern”). Today, oriental cucumber and paisley motifs are used in textile design all over the world. Fabrics with such unique prints never go out of fashion.

In the 70s and the end of the XVIII century, the Great Silk Road connected Russian prisons and fortresses with large cities of Central Asia. During this period, Central Asian masters began borrowing patterns from Russian factory fabrics for their production. Made for the East,

these fabrics, distinguished by the decorative-ness of large floral motifs, richness and great durability of colors, quickly won the sympathy of the local population. Also, at that time, under the influence of Russian calicoes, cotton fabrics with a checkered pattern began to be made in Central Asia. The borrowed origin of such fabrics was also reflected in their names: in Samarkand, Urgut, Nurata they were called patis and sarpinka, in Khujand – batisi katak [6, p. 87].

In fabric patterns of “Emil Zendel” calico printing manufactory in Moscow (the XIX century), there are oriental motifs that entered Russian ornamentation in the XV century and became its integral part. Especially in connection with the growth of trade with the countries of the East and West, plant motifs are borrowed from the imported fabrics. Russian masters of textile pattern were attracted by the careful development of small flowers and leaves of plant motifs.

The “cashmere” type ornaments are adjacent to the “carpet” ones (Fig. 3 - A fragment of fabric, decorated with patterns in which Arabic letters are arranged. Ivanovo State United Historical and Revolutionary Museum. Illustration from the book by V.L. Soloviev, M.D. Boldyreva. Ivanovo calicoes.). The prototypes for them, in all likelihood, were the patterns of Persian and Turkmen carpets, of course, significantly transformed in accordance with the design features of calicoes. In the artistic design of Ivanovo fabrics, it is possible to see the so-called “fabric-carpet” patterns in which Arabic scripts were arranged (Fig. 3) [7, p. 85].



Fig. 3

In the design of Ivanovo calicoes of the XIX century, there are oriental patterns borrowed from the design of silk Turkestani abr fabrics “zandenechi” and “khan-atlas”. Made

for the East and imported to Central Asia, these fabrics, which are distinguished by the decorativeness of large floral motifs, richness and great durability of colors, quickly won the sympathy of the local population.

In a floral textile pattern on the fabrics of Lyon manufactory J.L. Prieur, Ch. Dugur and other French ornamental artists introduced strict ornaments of Ancient Greece, borrowed from the local flora: acanthus, laurel, ivy, olive tree. Thus, many varieties of rosettes and palmettes appear. A very ancient type of ornamental construction – rosette – was known in Ancient Egypt [8, p. 51]. Rosette in the proper sense of the word is a stylized rose. It should be noted that it gained immense popularity in Gothic art. A vivid example of this is the centric ornament, the so-called “Gothic rose”. “Palmette” is a particularly well-known ornamental theme, it adorns Kashmirian capes, and a cypress branch is the main dominant of this ornament.

In the design of abr fabrics, these two stylized motifs were among the floral ornaments. They are rarely located side by side, directly one after the other. Most often, individual palmettes are framed by arcuate lines.

Not only heterogeneity, but also the nature of the purpose of silk fabric is the main feature that brings Sogdian fabrics and information from written sources closer to Central Asian abr fabrics of the XIX-XX centuries [9, p. 86].

One of the most perfect geometric shapes is a sphere or a circle. It is used both as an actual ornamental element and to limit the surface, which includes other motifs. S.M. Makhkamova writes “Based on the widespread in the XIX century, the abr pattern with circles turns out to be the same circle with an annular structure, with pearls along the outer and inner belt of the ring, with a rosette in the middle. As in Sogdian fabrics, in abr fabrics, the selection of concentric circle belts was emphasized by color. Circles in Sogdian fabrics, adjacent to each other, form a horizontal row. In the gaps between them (in a checkerboard pattern in relation to the circles) “palmette” is located as an additional element. In the abr fabrics, the circles were enlarged over their entire width. Therefore, their location has changed in rela-

tion to the width of the fabric (they form a vertical row); an additional element that is present in the abr fabric only in part (its full pattern is restored when two fabrics are sewn together), like the circle, has acquired more simplified forms in all parts” [9, p. 87].

We find an echo of a significantly modified narrative composition in Margelan abr fabric, sketched from nature by the artist V.K. Rozvadovsky in Margilan in the 1930s. A circle in this fabric stretched out and acquired the shape of an ellipse, the figures of animals (possibly birds) are depicted as an image of an almond decorated with pendants; a swollen base remained from the tree, a border of spirals, festoons and hearts turned into pendants hanging on thin legs, and the image between the ovals cannot be deciphered [9, p. 88]. Such comparisons provide sufficient material to outline a succession between ornamental compositions in the artistic design of fabrics that existed in Sogdiana and in the design of textile fabrics in Central Asia in the XIX – early XX centuries.

Noted by A.A. Ierusalimskaya evolution on Sogdian fabric of an additional element from the artistic borrowed compositions in the central continued. If in Sogdian fabrics the element, which has become the main one, is located in the middle of the medallion, then in abr fabrics it is completely free from pictorial frames and independently forms a rhythm in the composition. This applies, first of all, to the “tree of life” motif in the design of Sogdian fabrics between medallions or in the center between symmetrical images of paired animals and birds. In ikata, it gives a wide variety of options, including in the form of “wide-open wings”.

In the second half of the XX century, the fascination with oriental motifs all over the world increased significantly. A good example of the interaction between the arts of the West and the East is the mixture of European and Oriental styles. Even at the beginning of this century, abr fabrics with their original ornaments and colors, like the entire Turkestan culture as a whole, largely served as a creative source and had a significant impact on the development of Russian avant-garde. These artistic fabrics are examples of intuitive abstract art.

“Oriental cucumber”, retaining its originality in general and acquiring a new shade, as if a reflection of the new time, successfully continued its mission in the design of not only abr fabrics of the peoples of Central Asia (Fig. 4 a – “oriental cucumber” motif on abr fabric (unknown author)), but also printed fabrics of Tashkent Textile Factory (Fig. 4 b – *on calico (the author is B. Torebayev)Tashkent Textile Factory*). These fabrics were often awarded prizes at international exhibitions and fairs.

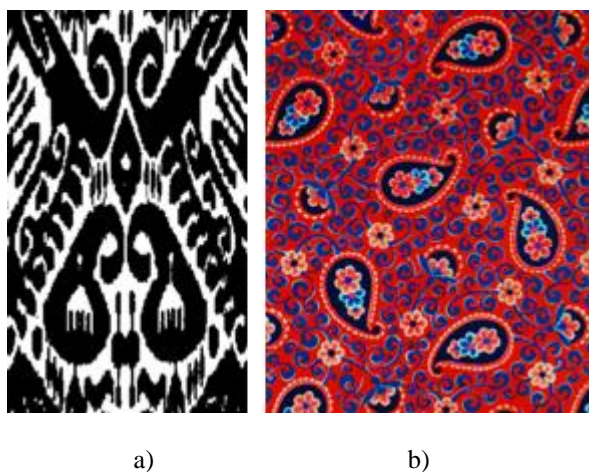


Fig. 4

Among the crocs created by the artists of Tashkent Textile Factory on national motifs, the patterns of abr fabrics seem to be the most interesting. The popularity of this traditional textile among the people prompted artists to search for new techniques for ornamenting cotton fabrics of mass consumption (sateen, calico, coarse calico) with abr patterns. The initiator of the mechanical printing of abr patterns and the author of the crock was the artist M. Arslanov. However, the printing method did not give such positive results, characteristic of hand-made abr fabrics, as soft outlines of patterns in the absence of transitional tones between colors of the same gamma [10, p. 213]. A similar method, according to Professor P.S. Siddikov, gives sharper contour outlines of patterns and causes a complete absence of transitional tones between colors of the same gamma. Obtaining an abr pattern by printing is not capable of conveying the uniqueness of the peculiar vague contours of the pattern, the amazing rhythm and musicality that the ornament of hand-made abr fabrics conveys [11,

p. 10]. Despite this, cotton fabrics with abr patterns were in great demand in the local market (Fig. 5 – Mechanical printing of abr patterns – the author is B. Torebayev Tashkent Textile Factory).



Fig. 5

Recently, new ornaments have appeared in the design of abr fabrics. Lola Shamukhitdinova writes: “At Sunday textile market in Margelan, I came across an ikat with a blue-and-white pattern across the entire width of the fabric, reminiscent of the image popular not only in Uzbekistan, but throughout Central Asia, on tea sets made of porcelain “pakhtagul” (cotton pattern)” [2].

More qualified masters of abr fabrics, using the patterns of ancient fabrics, introduce their new developments into the elements of ornament and composition. Most often, abrbandi masters themselves created ornamental motifs for their works. They began to redesign the traditional artistic design techniques in accordance with the new conditions. They often managed to create new original samples of patterns, due to the skillful use of motifs and a variety of techniques for varying different forms. Thus, not only new stylistic ornamental compositions consonant with the design of Central Asian ikats appear, but also new symbols, mainly associated with the culture of Islam (“the hand of Fatima”, etc.).

Today, we can assume that oriental motifs have firmly settled in the new land and, probably, have forever become part of the common European cultural heritage. Recall at least the bright and colorful Persian paisley pattern of a drop-shaped form, which the uninitiated peo-

ple unknowingly and due to the fashion house Etro consider Italian today.

Borrowing from outside from other peoples is one of the stimuli of the fashion for color and its combinations. At some stage, for example, the light, monochrome clothes of Romans and Greeks, under the influence of oriental fabrics, also became brightly colored in various tones [12, p. 121]. Not only oriental motifs, but also their favorite colors fit perfectly into modern clothes. This surprises no one today. For example, classical combinations of colors on various fabrics of the peoples of Central Asia are becoming widespread in the ensemble of costumes of Western countries [13, p. 132].

The theory of ornamental art allows to transfer not only motifs from other types of textiles into fabric design, but also those taken from other types of art. Motifs redrawn from monumental art, book illustrations, jewelry, works of applied, decorative and fine arts, petroglyphs, calligraphy, miniature painting and other arts often come to fabric design. Textile artists have always been doing this. This is explained by the fact that they are the origins of the folk ornament, the basis of which is the forms that have developed into a peculiar folk style.

From Byzantine monumental art in the XV century, a motif came to Europe that gained immense popularity in Gothic art. A vivid example of this is the centric ornament, the so-called “Gothic rose”, which has long been established in the textile pattern. It was often combined with the image of a pomegranate, pineapple, burdock, etc.

From the middle of the XVI century, fabrics (taffeta and silk velvet) began to be produced in Iran with images not only of flowers and animals, but also plots borrowed from miniature painting, in particular with large figures in the spirit of the miniatures of the artist Reza Abbasi. There is no illusory volume in miniature painting, the flatness of images is one of the leading style features. It is determined by the whole sum of visual means and techniques – the distribution of figures is given in parallel rows, without perspective reductions, without large-scale deletions or color weakening. All these allow modern textile designers to organically use the techniques of

beautiful Central Asian miniature painting in an updated manner and a different writing technique in the design of modern textiles [14, p. 404...405].

The 70s and the end of XIX century refer to the borrowing of patterns from Russian factory fabrics by Central Asian masters for their production. Traditional roses, hyacinths and other flowers on Pavlovian shawls and Zhostovo trays came through Ivanovo sateen into fabrics that were produced at Tashkent Textile Factory. Flowers, which are depicted on Zhostovo trays, are usually collected in bouquets or other flower arrangements. In the center of the bouquet there are one or two large flowers, around which smaller ones are grouped. Plant stems are most often not visible. The image of flowers in the design of the fabric was made in the same way as in Zhostovo in a realistic manner. The brightness of the flowers is also enhanced by the contrast: the pattern of the bouquet was located on a black, dark blue and raspberry background. Flowers were sometimes “collected” into garlands, which looked like straight or slanted stripes on the fabric. These favorite floral motifs of the local population, especially roses, have become traditional in the design of kurpa (bed-quilt) over time (Fig. 6 – The image of a rose in the design of fabrics of Tashkent Textile Factory: a – the author is T. Akimova, b – the author is B. Torebayev). On many types of products of decorative and applied crafts, in clothes, fabrics, calligraphic ornaments have been used for a long time. It is often called the art of beautiful inscription. Central Asian folk masters often used religious inscriptions in the composition of their products, in particular, they perfectly placed Arabic ligature in an edge of gold embroidery. Some compositions of abr fabrics included in its motifs, named after various significant historical and cultural events, include inscriptions and figures. For example, in the upper part of the ornamental composition of one of these few groups of motifs – “Kremlin”, you can read the mirror image of the word “world” (Fig. 7 – Inscription on the abr fabric. The author is Mirzaakhmedov). The most complex motifs – inscriptions can be placed on ikat fabric both vertically and horizontally. Sometimes they are enclosed within the motif,

as, for example, on the fabric composition made for the 200th anniversary of the city of Margilan [2, p. 62].



Fig. 6



Fig. 7

Any images in color, even of applied art, are reproduced in multi-heddle fabrics [1, p. 259]. Such names of floral patterns for decorating fabrics as “guli-chinni” – “chrysanthemum” and “guli kashkari” – “Kashgar flower” speak of their borrowing. Apparently, the patterns of Chinese porcelain served as an example for this, which had long been imported to Central Asia and was highly valued, and in the XIX-XX centuries were widely distributed among the wealthy strata of the urban population of Bukhara. It should be noted that these names have no resemblance to each other. The point, of course, is that the East itself is very diverse, ranging from the Islamic world to Buddhist China. At the same time, local textile traditions, of course, were also characterized by a certain originality. Among the traditional motifs, possibly also borrowed from Chinese porcelain, is “nalyak” pattern (calks used to shoe the heels of women’s shoes).

The motifs of the traditional ornament contain the features of the national original style, creatively processed into a textile pattern. Japanese designers constantly turn to traditional painting and ornamentation, they use in their creative activity, mainly traditional Japanese coloring with soft neutral combinations of primary colors that do not have bright contrasts. At the same time, Japanese textile designers certainly take into account the data that they collected from foreign information. Such a correction allows to develop international variants of ornaments that correspond to the technique of national motifs. Today, “The Land of the Rising Sun” is a leader in the mass production of printed fabrics. The design of these fabrics is the best in the world.

Noteworthy is a series of fabrics made by one of the most exquisite masters of French art of the first half of the XX century, Raoul Dufy, based on the engravings he had previously created to illustrate the poems of Guillaume Apollinaire, collected under the title “The Bestiary, or Procession of Orpheus”. Later, Dufy again turned to those motifs, rethinking his long experience, he creates a series of original textile patterns based on those illustrations that have become famous. Luxurious silk fabrics with unusual patterns – “Tortoise”, “Pegasus”, “Goat”, “Still Life with Fruits” and others clearly demonstrated the introduction of a new figurative language and compositional solutions in fabric design. All these beautiful fabrics with named patterns have entered the history of fashion forever. So, for example, in the design of “Tortoise” fabric, stylized images of turtles arranged in a checkerboard pattern and separated by a floral ornament in the form of branches with leaves are successfully used. The artist even divided turtle shells into species that differ from each other in a set of decorative elements and color schemes. In the ornamental composition of another of the most interesting textile patterns, Dufy included images of pumpkins, pears, flowers, wheatears, grapes and other berries, as well as a flying bird. All images were distinguished by an elegant graphic solution and excellent rapport construction of an ornamental motif. This jacquard-patterned fabric was available in beige-brown and red-brown colors.

Grotesque ornaments received a new impetus in the development of textile pattern. Grotesque with acanthus leaves is perhaps a more complex, mysterious and poignant motif with a plant than rocaille twisting into thin branches and leaves. Of the ornamentalists of “antique trend”, Charles Dugurt is of particular interest, whose patterns were actively translated into textile design: in the grotesque, an acanthus curl unexpectedly combines with images of animal characters of ancient mythology.

Byzantine fabrics were decorated with Christian monograms, such as the Greek letters X and P (the initial letters of the name of Christ) or the same letters with the addition of the letters “alpha” and “omega”. Also, ideographic writing has become widespread in many countries that profess Islam, in a certain sense replacing the fine arts.

A very significant technique in Islamic culture is the design of the inscription in the sacred Arabic script. On many types of products of decorative and applied crafts, fabrics, clothes, they have been used for a long time. “Fabric-carpet pattern”, often imitated gold-embroidered brocade (Central Asian masters of gold embroidery perfectly executed religious inscriptions in their products, which were placed in the edge of individual compositions).

In knitwear, the so-called “Norwegian” jacquard patterns with deer and snowflakes were used. In the middle of the last century, they were widely used in winter sportswear. These well-known Scandinavian patterns in our time regularly appear not only in sweaters, but also on fabrics for various purposes. Of particular note is ajoure, multifaceted design of snowflakes, they are unusually beautiful.

In the 60s of the XX century, leading textile designers drew inspiration from the work of famous abstract artists, sometimes with verbatim quoting of famous masterpieces of world fine art. Some designers echoed the impressionist art of Vincent van Gogh.

In the late 1980s, by order of Fashion House of Tashkent, croc for fabric with a calligraphic ornament was made at Tashkent Textile Factory (Fig. 8 - Calligraphic ornament in the design of fabric, JSC “Toshtukimachi” (fictitious letters). The author is Torebayev

B.P.). After printing on textile canvas, local fashion designers successfully demonstrated at one of the prestigious fashion shows of that time a collection of dresses made from this fabric in a southeastern style with the romantic name “Summer Tale”.



Fig. 8

The patterns of Russian ceramic dishes, in particular Gzhel painting, are very close to the artistic design of fabrics. The ornamentation of ceramics is also done with a soft brush and also depicts flowers; they are based on a similar wavy stem line, forming a floral ribbon that emphasizes the border of the form or reveals its main parts. In the late 80s, Russian linen bedclothes with patterns borrowed from Gzhel paintings, as well as motifs from folk Russian embroidery, were one of the most common not only in the markets of the Soviet country, but also in the post-Soviet space. The same patterns were used to print the wide bedclothes produced for the first time at Tashkent Textile Factory. The fabric, bordered with a single-shaft pattern, with imitation of folk embroidery, was given a poetic name – “Russian Beauty” and was printed until the end of its existence.

Masters of textile pattern have always been attracted by unusually warm original coloring and ornamental decoration of ceramics and embroidery. The main feature of Gijduvan ceramics (village in Uzbekistan) is a velvety, greenish-brown gamma with a golden tint and figurative painting, echoing the pattern of popular Uzbek fabrics. In addition, in these products, as well as in textiles, floral ornament prevails. More than others, there are floral motifs:

“bodomgul” (almond flower), “dasta gul” (bouquet of flowers), “parra gul”, etc.

Among the most frequently used zoomorphic motifs in the decoration of this craft is the image of birds. Of particular interest is the stylized pattern of a peacock or peacock’s tail placed in the center of the lyagan – “tovus pati” (peacock feather) and other images of birds, often resembling a flower, which is one of the specifics of the Gijduvan pottery school design.

The folk costume of the women of South Tajikistan was covered with embroidery. The composition of its patterns included silhouettes of jewelry.

Despite their simplicity, the patterns of Central Asian folk embroidery arts are the most unique, very dynamic and rhythmic, their demand in everyday life ensured high demand in all bazaars [15, p. 131]. This prompted the designers of JSC “Toshtukimachi” to a new ornamental solution. They created their own versions of crosses, imitating similar embroideries with stylized floral motifs. Subsequently these fabrics produced by enterprises became very popular among the population. Therefore, in recent times, folk embroidery patterns have often been used in textile accessories and piece knitwear (Fig. 9 - Patterns from folk embroideries of Central Asia in the artistic design of fabrics. JSC “Toshtukimachi”. The author is Torebayev B.P.), even in shoes (Fig. 10 - The use of floral ornaments in the design of bags and shoes. The author is M. Ilkhamova. Illustration from the article by B.P. Torebayev, M.U. Ilkhamova, D.T. Maksudova and others. Embroidery and the use of its tradition in the development of modern design of T-shirts, shoes and handbags. Scientific journal “Textile Industry Technology”. No. 5, Ivanovo, Russia, 2020. p. 131). The author of the article, Torebayev B.P., transformed patterns from Kazakh folk embroidery into T-shirt design in a new format (Fig. 11 Medallion and ribbon patterns from stylized floral forms of Kazakh national embroidery in the design of modern fabrics and T-shirts, JSC “Toshtukimachi”, the author is Torebayev B.P.).



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11

Today batik finds more and more admirers all over the world. The traditions of this art are also used in their work by many young fashion designers in Central Asia. The basis of their batik decor is traditional ornaments, typical for silk kerchiefs – kaigals – large medallions – “sun”, “bodom” motif and other various floral ornaments. Using this technique, elements of oriental miniatures and architectural decoration, as well as images transferred from the frescoes of Afrasiab and Penjikent, are recreated in the models.

Petroglyphs are far from common in modern art, but recently artists of various genres have shown great interest in this ancient art form. And fabric designers are no exception, they also successfully use in their field of activity not only cave drawings with representatives of the animal world that prevailed on them, but also the texture and color of the stone at the same time. The author of the article transformed such images into the design of denim for the clothes of the younger generation, but the color gamma of this textile pattern was decided to be blue (Fig. 12 - The use of cave drawings in the design of denim. JSC “Toshtukimachi”, the author is Torebayev B.P.), since one of the most popular and practical types of clothing – jeans, in most cases, is dyed in shades of blue. It is this gamma that has always been considered, and is considered the most suitable for this clothing made of dense cotton fabric of diagonal weaving – serge, otherwise called “denim”.



Fig. 12

CONCLUSION

So, inspired by compositional, coloristic solutions, rhythmic movements and expressive plastics, modern artists of textile pattern can borrow various interesting ornamental elements in their creative activity. In Tashkent Textile Factory, along with the pattern of lush flowers, designed in the traditions of Ivanovo fabrics, new colorful patterns were created, inspired not only by Uzbek folk ornaments, but also by abr fabrics, heelpieces, ceramics, painting, etc. [16, p. 60]. But in endless rapport constructions, the processing of these “foreign” motifs requires a serious creative approach. The basis of successfully processed materials, consistent with the views of the man of our time, allows the creation of a series of innovative textile patterns. Ultimately, all these so-called “non-textile patterns” can acquire new features in the design of modern textiles.

REFERENCES

1. *Pugachenkova G.A., Rempel L.I.* Essays on the art of Central Asia. Artistic fabrics. M.: Art, 1982, P. 259...265.
2. *Shamukhidinova L.* IKAT: Photoalbum, Germany, 2021. 57 p.
3. *Pavlov A.* Garden of earthly pleasures. Floral motifs: past traditions and modern trends. International Textiles. 2013. 2 (54). P. 70.
4. *Dzhanibekov U.* Culture of Kazakh craft. Alma-Ata: Oner, 1982. 66 p.

5. *Tursunov N.O.* From the history of the urban craft of Northern Tajikistan. Dushanbe, 1974. 87 p.
6. *Soloviev V.L., Boldyreva M.D.* Ivanovo calicoes. M.: Legprombytizdat, 1987. 85 p.
7. *Koshayev V.B.* Decorative and applied art. Concepts. Stages of development. Teaching aid. M.: VLADOS, 2014.
8. *Torebayev B.P., Rakhimova Z.I.* Oriental character of the design of fabrics of Tashkent Textile Factory (the 30s and 40s of the XX century) // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 5. P. 209...214.
9. *Siddikov P.S.* Fundamentals of creating technology and optimizing processes in the manufacture of national abr fabrics: monograph. Tashkent, 2017.
10. *Suprun A., Filanovsky G.* Why are we dressed like this? M.: Young guard, 1999. 121 p.
11. *Torebayev B.P.* Ornament and color in textile design: monograph. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishin, 2017. 132 p.
12. *Fakhretdinova D.A.* Decorative and applied art of Uzbekistan. Tashkent: Publishing house of literature and art named after G. Gulyam, 1972. 60 p.
13. *Torebayev B.P., Ilkhamova M.U., Maksudova D.T. et. al.* Embroidery and using its traditions in developing a modern design of t-shirt, shoes and handbags // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2020. № 5. P. 128...135.
14. *Torebayev B.P., Rakhimova Z.I.* Borrowing of narrative patterns of Central Asian miniature painting in the artistic design of textiles // *Collected works of International Scientific-Practical Conference, Munich, Germany, 2020.* P. 404...405.
15. *Durru O., Niyazbekova R.K., Seidakhmetov M.X., Yessirkepova A.M., Durru D.K.* Competitiveness of the carpet manufacturing market of the Republic Kazakhstan // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2019. № 1 (379). P. 83...91.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Пугаченкова Г.А., Ремпель Л.И.* Очерки искусства Средней Азии. Художественные ткани. М.: Искусство, 1982. С. 259...265.
2. *Shamukhidinova L.* ИКАТ: фотоальбом. Германия, 2021. 57 с.
3. *Павлов А.* Сад радостей земных. Флористические мотивы: традиции прошлого и

тренды современности. *International Textiles*, 2013. № 2. С. 70.

4. *Джанибеков У.* Культура казахского ремесла. Алма-Ата: Онер, 1982. 66 с.
5. *Турсунов Н.О.* Из истории городского ремесла Северного Таджикистана. Душанбе, 1974. С. 87.
6. *Соловьев В.Л., Болдырева М.Д.* Ивановские ситцы. М.: Легпромбыtizdat, 1987. 85 с.
7. *Кошаев В.Б.* Декоративно-прикладное искусство. Понятия. Этапы развития: учебное пособие. М.: ВЛАДОС, 2014.
8. *Торебаев Б.П., Рахимова З.И.* Восточный характер дизайна тканей Ташкентского текстильного комбината (30-е и 40-е годы XX века) // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 2022. № 5. С. 209...214.
9. *Сиддииков П.С.* Основы создания технологии и оптимизация процессов при изготовлении национальных авровых тканей: монография. Ташкент, 2017.
10. *Супрун А., Филановский Г.* Почему мы так одеты. М.: Молодая гвардия, 1999. 121 с.
11. *Торебаев Б.П.* Орнамент и цвет в дизайне текстиля: монография. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 132 с.
12. *Фахретдинова Д.А.* Декоративно-прикладное искусство Узбекистана. Ташкент: Изд-во литературы и искусства им. Г. Гуляма, 1972. 60 с.
13. *Торебаев Б.П., Ильхамова М.У., Максудова Д.Т. и др.* Вышивка и использование ее традиций при разработке современного дизайна футболки, обуви и сумочки // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 2020. № 5. С. 128...135.
14. *Торебаев Б.П., Рахимова З.И.* Заимствования сюжетных рисунков среднеазиатской миниатюрной живописи в художественном оформлении текстильных изделий // *Сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. Мюнхен, Германия, 2020.* С. 404...405.
15. *Дурру О., Ниязбекова Р.К., Сейдахметов М.К., Есиркепова А.М., Дурру Д.К.* Конкурентоспособность рынка ковровых изделий Республики Казахстан // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 2019. №1 (379). С. 83...91.

Рекомендована кафедрой архитектуры и градостроительства ЮКУ им. М. Ауэзова. Поступила 11.10.23.

**ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЮЖЕТНОГО ОРНАМЕНТА
ИВАНОВСКОГО НАБИВНОГО ТЕКСТИЛЯ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XX ВЕКА**
**ARTISTIC FEATURES OF IVANOV PRINTED TEXTILES PLOT ORNAMENT
OF THE SECOND HALF OF THE TWENTIETH CENTURY**

H.B. САВИНА

N.V. SAVINA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: kletov@mail.ru

Ивановский текстиль – особое явление в области промышленного дизайна России. Сформировавшаяся местная школа художественного оформления тканей набивным узором уникальна и самобытна. Период второй половины XX века – интересное продолжение богатых традиций ивановской школы текстильного дизайна. В основе творческой работы художников лежит стремление к созданию индивидуального авторского стиля, который определяет создание новых стилевых решений в оформлении тканей. Исключительное явление в художественном отношении – ивановские ткани, оформленные сюжетным рисунком. Выбор темы, техники и приемов исполнения такого узора разнообразен и интересен в своем решении. В статье рассмотрены основные творческие приемы и направления художественного проектирования ивановского текстиля второй половины XX века, украшенного набивным сюжетным рисунком. Сформулированы и проанализированы основные направления экспериментальной деятельности ивановских художников, которые позволяют говорить о формировании разнообразной орнаментики текстильной продукции исследуемого периода. При комплексном рассмотрении процесса проектирования сюжетных текстильных рисунков исследуемого периода выявлены основные сюжеты, способы изображения и самобытные качества ивановских тканей.

Ivanovo textiles are a special phenomenon in the field of industrial design in Russia. The established local school of artistic design of fabrics with printed patterns is unique and original. The period of the second half of the twentieth century is an interesting continuation of the Ivanovo school of textile design, which is rich in its traditions. The basis of the creative work of artists is the desire to make an individual author's style, which determines the creation of new stylistic solutions in the design of fabrics. An exceptional artistic phenomenon is Ivanovo fabrics decorated with a plot design. The choice of theme, technique and methods of execution of such a pattern are various and interesting in their solution. The article examines the main creative techniques and directions of artistic design of the Ivanovo textile style of the second half of the twentieth century, decorated with a printed plot design. The main directions of experimental activity of Ivanovo artists are analyzed and formulated, which allow us to talk about the formation of various ornaments of textile products of the period under study. With a comprehensive examination of the process of designing narrative textile patterns of the period under study, the main subjects, methods of depiction and original qualities of Ivanovo fabrics were identified.

Ключевые слова: ивановские ситцы, стилизация, творчество, текстильный рисунок, промышленный дизайн, изобразительные средства, сюжетный орнамент, тематический сюжет.

Keywords: Ivanovo calico, stylization, creativity, textile drawing, industrial design, visual means, plot ornament, thematic plot.

Ивановская школа текстильного дизайна – уникальное явление в области художественного оформления текстиля. К отличительным качествам ивановского стиля следует отнести высокий уровень художественного такта и профессионализма художников и мастеров текстильного производства. На протяжении столетий здесь создавались особенные образцы тканей, отличающиеся изяществом исполнения узора, смелыми и в то же время гармоничными цветовыми решениями. Местные способы и декоративные приемы украшения набивного текстиля самобытны и оригинальны. Сложившаяся ивановская школа текстильного рисунка является значимой составляющей промышленного дизайна России, а также важным, интересным материалом для современных специалистов в области искусства и культуры [1...7].

Тематический рисунок – сложное и яркое направление в художественном оформлении текстиля. Своего расцвета и особую историческую ценность данный стиль достигает в период 1920-х – 1930-х годов, который в истории принято обозначать как период агитационного текстиля [7...9]. Затем свое творческое продолжение тематические узоры получают в период второй половины XX века, однако в это время они определяют другие задачи текстильного рисунка и приобретают новые формы и сюжеты [1, 10...13].

Период второй половины XX века – интересное продолжение богатых традиций ивановской школы текстильного дизайна. В основе творческой работы мастеров текстильного рисунка лежит стремление создания индивидуального авторского стиля, который формирует новые стилевые решения в художественном оформлении тканей. Исключительное явление в художественном отношении – ивановские ткани, оформ-

ленные сюжетным рисунком. Темы, техники и приемы исполнения такого узора достаточно разноплановы и интересны в своем решении.

Широкое распространение в этой области получают тематические сюжеты, среди которых встречаются изображения окружающей действительности: образы городской и сельской жизни, моменты современной среды, предметы обихода и т. д. (рис. 1 – Ситец. Неизвестный автор, 1960-е гг.). Зачастую в основе рисунка лежали изображения достопримечательностей города Иванова. Например, зарисовки зданий цирка, театра, текстильных фабрик, а также ведущих вузов города. Цветовой колорит таких композиций был достаточно разнообразен [1, 14...16].

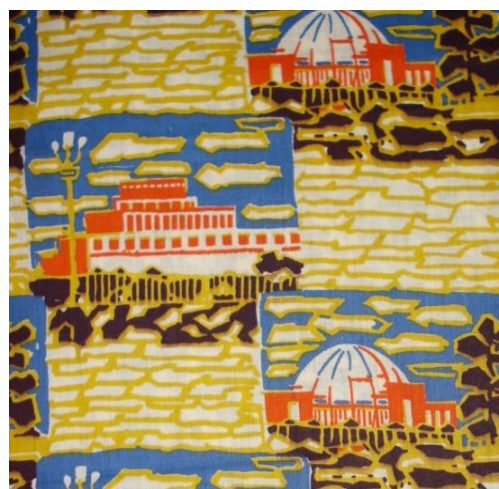


Рис. 1

Ивановские мастера текстильного рисунка второй половины XX века активно работали над эскизами, в основе которых лежали изображения эмблем юбилейных событий. Ткани с подобным рисунком выпускались к различным праздничным датам и важным общественным мероприятиям. В подобном стиле выполнены ткани,

оформленные крупномасштабными декоративными композициями на темы мира, дружбы народов, фестивалей, видов спорта, и ткани плакатного характера [17]. Художники активно участвовали в конкурсной деятельности, разрабатывая эскизы по тематике Всемирного фестиваля молодежи и студентов. Работы ивановских мастеров были отмечены членами жюри за высокий уровень мастерства, оригинальное цветовое композиционное построение и удачное решение эмблемы фестиваля [1, 10].

Уникальные образцы тематического текстиля представляют особое направление в декоративном проектировании ивановских набивных тканей второй половины XX века – оформление изделий рисунками, в основе которых лежат сюжеты значимых событий и мероприятий в жизни общества и результаты технического прогресса того времени. Такое научное открытие, как освоение космоса, например, повлияло на создание текстильных рисунков с космической тематикой, а развитие автомобилестроения обусловило появление образцов с изображениями транспортных средств: троллейбусов, трамваев и различных марок автомобилей [18].



Рис. 2

Особое место в изучении сюжетных текстильных композиций второй половины XX века занимает серия тканей, выполненная по мотивам московской олимпиады 1980 года. Художники, изучая и перерабатывая сюжеты подобной тематики, рабо-

тали в различных стилевых направлениях. Построение большинства рисунков основано на использовании комбинированного приема. В работах художниками объединялась символика главной темы московской олимпиады 1980 года с традиционными ивановскими растительными, геометрическими или народными мотивами (рис. 2 – Сатин. С.А. Борисов, 1980), а также изображения спортивных дисциплин и пейзажных зарисовок Москвы сочетались с использованием шрифтовых орнаментов и олимпийских клейм (рис. 3 – Ситец. Неизвестный автор, 1979) [1, 13, 16...18].



Рис. 3

В своем большинстве символика летних Олимпийских игр 1980 года лежала в основе рисунков для плательных и сорочечных тканей. Подобное направление развивали Большая ивановская мануфактура, Большой кохомский комбинат, Шуйская ткацко-отделочная фабрика, Ткацко-отделочная фабрика им. Н.А. Жиделева и другие производства [1].

В процессе создания эскизов текстильных рисунков в подобном стиле использовались различные художественно-выразительные средства: точечные элементы, штриховка, линейные и пятновые мотивы. Эскизы характеризовались сдержанной цветовой гаммой и стилизованными изображениями. Такой стиль в полной мере отражает общую тенденцию к стремлению выразить индивидуальные авторские качества рисунка [17, 18].

При изучении некоторых мотивов и способов трактовки сюжетного орнамента ивановских набивных тканей второй половины XX века зафиксированы художественные заимствования западных тенденций в оформлении тканей. В частности, в период 1980-1990-х годов в текстильных рисунках стало отчетливо прослеживаться использование декоративных приемов и мотивов стиля поп-арт – изображения объектов массовой культуры, различных предметов быта и человеческой фигуры (рис. 4 – Костюмная ткань. Неизвестный автор, 1988). Встречались композиции с изображениями девушек, помад, флаконов духов, иностранных надписей и других элементов, оформленных в стиле поп-арт [17, 19].



Рис. 4

В период 1980-1990-х гг. появились рисунки с новыми тематическими сюжетами, заимствованными из различных культур, – изображениями сувенирных предметов, исторических архитектурных строений, иероглифов и элементов наскальной живописи. Такое направление в искусстве оформления тканей было обусловлено активным развитием туризма и отдыха в это время [17, 18].

Для периода второй половины XX века свойственны оригинальные композиции, украшающие детский набивной текстиль. Это очень интересное направление для творческой деятельности художников этого времени. Основные сюжеты для творческой работы – мотивы, заимствованные

из народных сказок и былин, образы деревенской жизни, а также для создания текстильного узора использовались изображения игрушек, детских сюжетных игр и развлечений [1, 17]. С ассортиментом тканей подобного сегмента работали такие талантливые художники, как Т.К. Ананьина, А.А. Заикина, В.А. Колесов, Г.С. Соломонова и другие.

Особенно интересны текстильные рисунки, комбинирующие в себе различные типы орнамента. Примером подобных решений служат композиции сюжетных рисунков с растительными и геометрическими узорами, а также вариации с мотивами разных этнических групп, зачастую объединенными с разнообразными художественными приемами и техниками [1, 17...20].

Вышеперечисленные особенности художественного оформления ивановских тканей второй половины XX века позволяют говорить об ивановском текстиле как об особом явлении промышленного дизайна России. Ивановская школа текстильного дизайна обладает самобытными и оригинальными качествами.

ВЫВОДЫ

Для творческой деятельности художников второй половины XX века свойственны поиск новых индивидуальных тем для создания текстильного рисунка, творческое переосмысление традиционных составляющих ивановского стиля, трансформация восточных и народных орнаментов и сюжетов в современные узорные формы и мотивы.

Ивановский тематический текстильный рисунок второй половины XX века приобретает новые стилевые решения и отличается художественными импровизациями, но в то же время является органичным продолжением традиций классической ивановской школы текстильного орнамента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В.Л., Болдырева М.Д. Ивановские ситцы. М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1987. 224 с.
2. Арсеньева Е.В. Ивановские ситцы: альбом. Л.: Художник РСФСР, 1983. 216 с.

3. *Алпатова И.А.* Узорные ткани. Русское декоративное искусство. М., 1965.

4. *Буткевич Л.М.* История орнамента. М.: ВЛАДОС, 2003. 265 с.

5. *Бесчастнов Н.П.* Становление методов художественного проектирования печатного текстильного рисунка в России. М., 1992.

6. *Немковский С.П.* Орнамент на ткани. М.: Московский рабочий, 1987. 52 с.

7. *Ермолаева М.И.* Эволюция дизайна текстиля в ивановских ситцах // Дизайн. Материалы. Технология. 2009. №4(11). С. 143...148.

8. *Малахова С.А., Журавлева Т.А., Козлова В.Н. и др.* Художественное оформление текстильных изделий. М.: Легпромбытиздат, 1988. 304 с.

9. От ручной набойки до машинной печати. Коллекция тканей Музея ивановского ситца. – <http://textilemuseum.ru/ru/>

10. *Мокров К.И.* Художники текстильного края. Л.: Художник РСФСР, 1986. 168 с.

11. *Ясинская И.М.* Советские ткани 1920-1930-х годов. Л.: Художник РСФСР, 1977. 278 с.

12. 100% Иваново. Агитационный текстиль 1920-х – 1930-х годов из собрания Ивановского государственного историко-краеведческого музея им. Д.Г. Бурлыгина: альбом. М.: Издательская программа «Интерроса», 2010. 476 с.

13. Музей ивановского ситца. – <http://музейбурлыгина.рф/o-muzee/muzey-ivanovskogo-sittsa/>

14. *Савина Н.В.* Тематический рисунок ивановского набивного текстиля второй половины XX века // Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии: материалы 25-й междунар. науч. конф. СПб.: СПГУПТД, 2022. С. 321...324.

15. *Савина Н.В., Курникова Е.А.* Особенности художественного проектирования тематических узоров ивановских набивных тканей второй половины XX века // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2022): сб-к матер. междууз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Иваново: ИВГПУ, 2022. С. 773...774.

16. *Соловьев В.Л.* Ивановские ситцы: дис. ... канд. искусствоведения. М., 1990. 247 с.

17. *Савина Н.В.* Творческие эксперименты ивановских художников в процессе оформления текстиля второй половины XX века // Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии: материалы 21-й междунар. науч. конф. СПб.: СПГУПТД, 2018. С. 360...363.

18. *Савина Н.В.* Принципы и методы художественного проектирования ивановского текстильного рисунка второй половины XX века // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2016. №2. С. 165...168.

19. *Щербакова А.В.* Принципы и методы художественного проектирования печатного текстильного рисунка 50-60-х годов XX века. Зарубежный и

отечественный опыт: дис. ... канд. искусствоведения. М., 2013. 170 с.

20. Энциклопедия нематериального культурного наследия России. Посвящается Году культурного наследия народов России. М.: Институт Наследия, 2022. 576 с.

REFERENCES

1. *Solovyov V.L., Boldyreva M.D.* Ivanovo chintz. M.: Light industry and consumer services, 1987. 224 p.
2. *Arsenyeva E.V.* Ivanovo calico: album. L.: Artist of the RSFSR, 1983. 216 p.
3. *Alpatova I.A.* Patterned fabrics. Russian decorative art. M., 1965.
4. *Butkevich L.M.* History of ornament. M.: VLADOS, 2003. 265 p.
5. *Beschastnov N.P.* The formation of artistic design methods for printed textile designs in Russia. M., 1992.
6. *Nemkovsky S.P.* Ornament on fabric. M.: Moscow. worker, 1987. 52 p.
7. *Ermolaeva M.I.* The evolution of textile design in Ivanovo chintz // Design. Materials. Technology. 2009. No. 4 (11). P. 143...148.
8. *Malakhova S.A., Zhuravleva T.A., Kozlova V.N. and others.* Decorative design of textile products. M.: Legprombytizdat, 1988. 304 p.
9. From hand-printed to machine printing. Collection of fabrics from the Ivanovo Calico Museum. – <http://textilemuseum.ru/ru/>
10. *Mokrov K.I.* Artists of the textile region. L.: Artist of the RSFSR, 1986. 168 p.
11. *Yasinskaya I.M.* Soviet fabrics of the 1920s – 1930s. L.: Artist of the RSFSR, 1977. 278 p.
12. 100% Ivanovo. Propaganda textiles of the 1920s – 1930s from the collection of the Ivanovo State Museum of History and Local Lore. D.G. Burylina: album. Moscow: Publishing program «Interrosa», 2010. 476 p.
13. Museum of Ivanovo chintz. – <http://muzeyburylina.rf/o-muzee/muzey-ivanovskogo-sittsa/>
14. *Savina N.V.* Thematic drawing of Ivanovo printed textiles of the second half of the twentieth century // Fashion and design: historical experience – new technologies: materials of the 25th international scientific conference. St. Petersburg: SPGUPTD, 2022. P. 321...324.
15. *Savina N.V., Kurnikova E.A.* Features of artistic design of thematic patterns of Ivanovo printed fabrics of the second half of the twentieth century // Young scientists – the development of textile and light industry (POISK-2022): a collection of materials from the interuniversity scientific and technical conference of graduate students and students. Ivanovo: IVGPU, 2022. P. 773...774.
16. *Soloviev V.L.* Ivanovo calico: dis. ... cand. art history. M., 1990. 247 p.
17. *Savina N.V.* Creative experiments of Ivanovo artists in the process of designing textiles of the second half of the twentieth century // Fashion and design: historical experience – new technologies: materials of

the 21st international scientific conference. St. Petersburg: SPGUTD, 2018. P.360...363.

18. Savina N.V. Principles and methods of artistic design of Ivanovo textile designs of the second half of the twentieth century // Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. Questions of theory and practice. Tambov: Certificate, 2016. No. 2. P. 165...168.

19. Shcherbakova A.V. Principles and methods of artistic design of printed textile designs of the 50-60s of

the twentieth century. Foreign and domestic experience: dis. ...cand. art history. Moscow, 2013. 170 p.

20. Encyclopedia of the intangible cultural heritage of Russia. Dedicated to the Year of the Cultural Heritage of the Peoples of Russia. M.: Heritage Institute, 2022. 576 p.

Рекомендована кафедрой дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой ИВГПИУ. Поступила 03.11.23.

УДК 687.1: 391:74(575+574)
DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_204

ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ НАТЕЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ЖЕНЩИН ДАГЕСТАНА

CHARACTERISTICS AND CLASSIFICATION OF UNDERWEAR CLOTHING OF DAGESTAN WOMEN

И.А. ГАДЖИБЕКОВА

I.A. GADZHIBEKOVA

(Дагестанский государственный технический университет)

(Dagestan State Technical University)

E-mail: naina.92@mail.ru

Актуальность данной работы обоснована необходимостью возрождения и сохранения традиций национальной культуры, частью которой, несомненно, является народный костюм, который состоит из рубахи, штанов, верхнего платья, шубы, головного убора и покрывала или платка, а также различных видов обуви. Проведен художественно-конструкторский анализ женской нательной одежды, который показал, что нательная одежда как составная часть женского костюмного комплекса формировалась под воздействием различных факторов: природно-климатических, социально-культурных, художественно-эстетических, нравственно-духовных. Дана характеристика нательной одежды по таким композиционно-конструктивным признакам, как составные части формы, конструктивно-декоративные, функционально-декоративные и декоративные элементы формы, покрой и силуэт изделий, цвет и фактура материалов, длина одежды и длина рукавов. Анализ конструкции нательной одежды дагестанских женщин позволил выявить особенности взаимосвязей конструктивных элементов.

The relevance of this work is justified by the need to revive and preserve the traditions of national culture, part of which is undoubtedly the folk costume, which consisted of a shirt, pants, outer dress, fur coat, headdress and blanket or scarf, as well as various types of shoes. An artistic and design analysis of women's underwear was carried out. Our analysis showed that underwear, as an integral part of the women's costume complex, was formed under the influence of various factors: natural-climatic, socio-cultural, artistic-aesthetic, moral-spiritual. The characteristics of underwear are given according to such compositional and design features as com-

ponents of the form, structural and decorative, functional and decorative and decorative elements of the form, cut and silhouette of products, color and texture of materials, length of clothing and length of sleeves. Analysis of the design of the underwear of Dagestan women made it possible to identify the peculiarities of the interrelations of structural elements

Ключевые слова: нательная одежда, рубаха, штаны, пояс, художественно-конструкторский анализ, покрой, силуэт.

Keywords: underwear, shirt, pants, belt, artistic and design analysis, cut, silhouette.

Мне посчастливилось родиться в Дагестане – уникальном крае, замечательном регионе, богатом своими традициями и культурой. В Дагестане мирно сосуществуют тридцать три национальности, каждая из которых устойчиво сохранила старинные черты местной традиционной культуры. Составной частью традиционной культуры Дагестана является одежда народов Дагестана. Но если мужской костюм, за

некоторым исключением, был единым для всех горцев, то женский костюмный комплекс имел много локальных особенностей [1]. Женская одежда состояла из рубахи, штанов, верхнего платья, шубы, головного убора и покрывала или платка, а также различных видов обуви. В качестве наглядного примера приведем структуру костюмного комплекса андийки (рис. 1) [2].

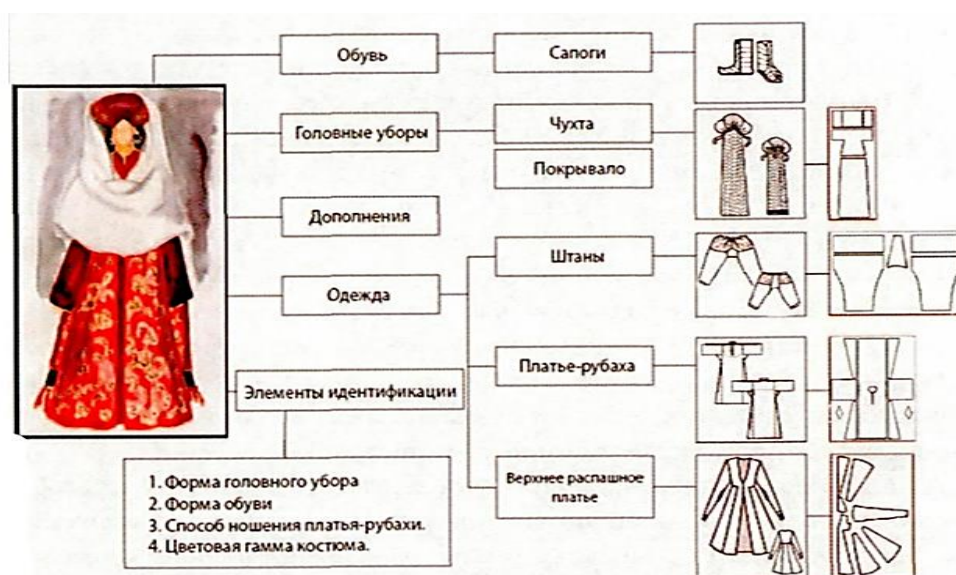


Рис. 1

Штаны и рубаха составляли нательную одежду дагестанки. У представительниц разных национальностей она имеет свои композиционно-конструктивные признаки. Нами проведен художественно-конструкторский анализ женской нательной одежды. Он показал, что нательная одежда как составная часть женского костюмного комплекса формировалась под воздействием различных факторов: природно-климатических, социально-культурных,

художественно-эстетических, нравственно-духовных [3].

Проведение художественно-конструкторского анализа женской нательной одежды в данной работе включает исследование композиционно-конструктивных признаков одежды, таких как:

- геометрический вид формы;
- внешнее очертание формы;
- внутренняя поверхность формы;
- рельефность поверхности формы;

- составные части формы;
- конструктивно-декоративные, функционально-декоративные и декоративные элементы формы;
- покрой и силуэт изделий;
- цвет и фактура материалов;
- длина одежды и длина рукавов;
- композиционные особенности: контраст и нюанс, ритм [4].

Приступим к их характеристике.

Штаны известны двух типов. Первый тип – длинные штаны, с широким шагом, без боковых швов, зауженные внизу и довольно широкие в верхней части, со вставкой в виде ромба или широкой полосы между штанинами. Верхний срез штанов обрабатывали притачным поясом, в который продевали плетеный шнур. Этот шнур стягивал штаны в верхней части. Штаны шили из разных тканей. Очень часто верхнюю часть штанов выполняли из простых, более дешевых тканей, а нижнюю часть – из дорогих тканей. Низ штанов декорировали

тесьмой, вышивали золотыми или серебряными нитками. На изготовление штанов затрачивалось 2-2,5 м ткани.

Второй тип штанов – широкие штаны. Они имели усложненный крой. Верхняя часть штанов, доходящая до середины бедра, по крою напоминала штаны первого типа, а нижняя часть была очень широкая, так как присборивалась по верхнему срезу или закладывалась в мелкие складки. На изготовление штанов затрачивалось от 5 до 10 м ткани. Верхние и нижние срезы штанов обрабатывались аналогично штанам первого типа [5].

Широкие штаны совершенно исчезли из быта уже в 30-е годы прошлого столетия и сохранились как элемент свадебной одежды. Узкие длинные штаны как наиболее древние и традиционные, характерные для большинства народов Дагестана, удобные для работы в доме и в поле, легкие, скрадывающие полноту, бытуют до сих пор у женщин старшего возраста.

Характеристика композиционно-конструктивных признаков приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Композиционно-конструктивный признак	Штаны	
	1 тип	2 тип
Форма	сложная, с тенденцией расширения кверху	сложная, с тенденцией расширения книзу
Структурные части формы	половинка брюк без бокового шва, вставка	верхняя часть половинки брюк без бокового шва, нижняя часть штанин из нескольких полотнищ, вставка
Вставка	ромбовидной формы и в виде широкой полосы	ромбовидной формы
Поверхность формы	гладкая	рельефная
Силуэт	прямые, зауженные книзу	расширенные книзу
Пояс	притачной с полым рубцом	притачной с полым рубцом
Декорирование низа штанин	разноцветные полосы, тесьма, вышивка золотыми или серебряными нитками	полоски бархата, парчи, вышивка золотыми нитками, тесьма
Ткань	простая светлых тонов (кумычки, лезгинки, табасаранки, цахурки); темных тонов (аварки, даргинки, лачки)	простая ткань для верхней части штанов и более дорогая (бархат, шелк) для нижней части штанов

Неотъемлемой частью натальной одежды женщин Дагестана являлась рубаха. Рубахи были двух видов: туникообразные и с отрезной талией – длинные со складками на юбке. Рубахи первого типа имели туникообразный покрой, расширялись книзу за счет клиньев, вшитых с двух боковых сторон, имели спущенное плечо, прямые втачные рукава, квадратные или ромбовидные ластовицы. Ластовицы чаще изготавливались из ткани другого цвета.

Рубахи имели прямой вертикальный разрез на груди. Иногда рукав присборивали по низу. Такие рубахи имели притачные манжеты. Верхняя часть рубахи до пояса обрабатывалась подкладкой для прочности. Рубахи изготавливали с воротником-стойкой или без него. В случае, если рубаха не имела воротник, вырез горловины окантовывали. Застегивалась рубаха на пуговицы (на воротничке и посередине грудного выреза). Рукав также застегивался на одну-две

пуговицы. Женщины северного Дагестана шили рубаху длиной до пят. Женщины южного Дагестана (табасаранки, лезгинки, кумычки) носили рубаху длиной до икр и с боковыми разрезами высотой 12-15 см.

Шили рубахи из тканей светлых тонов в южном Дагестане и тканей темных тонов (из ситца в полоску или с мелким рисунком) в северном Дагестане. Богатые женщины шили рубахи из батиста, шелка белого цвета. На изготовление рубахи шло обычно 3,5-7 м ткани.

У женщин северного Дагестана (аварки, лачки, даргинки) эти рубахи выполняли функцию не только нательной одежды, но и верхнего платья.

Если кумычки в туникообразной рубахе, которая шилась главным образом из ткани светлых тонов (чаще из ситца), короче и проще, чем у горянки, могли ходить только дома, в кругу своей семьи, а при выходе на улицу обязательно надевали верхнее платье, то для аварки и лачки такая рубаха была обычной одеждой для дома и улицы. Поэтому рубаху кроили шире и длиннее, почти до пят, но так, чтобы из-под нее были видны штаны, низ которых нарядно декорировали. Замужние женщины горного Дагестана шили рубаху из темных тканей (синего или черного цвета). Такое платье называли «горде». Горде обычно шили с большими ластовицами, чаще из ткани другого цвета (ярко-красного, ярко-зеленого). Низ платья, рукавов и грудной разрез украшали отделкой из дорогой ткани другого цвета (парчи, бархата, вельвета). Нередко рубаху

украшали лоскутками разноцветной ткани, вырезанными в форме геометрических фигур. Декорировали рубаху и вышивкой (грудной разрез, низ рубахи).

Особо нарядными были рубахи женщин селения Кубачи [6]. Низ рукавов обрабатывали широкими манжетами и расшивали их жемчугом в виде чередующихся треугольников. На оставшиеся нерасшитые участки нашивались серебряные бляхи в виде брошек. Кроме того, края манжет обшивались цветной плетеной тесьмой, на которую нанизывались мелкие подвески. И низ штанов кубачинки расшивали благородными камнями и жемчугом. Даргинки и аварки нагрудную часть рубахи украшали монетами, низ рукавов обшивали серебряной цепочкой и по боковому шву до ластовицы пришивали мелкие монеты.

Рубаха застегивалась у горловины. Даргинки, аварки, лачки в качестве пуговицы использовали небольшие серебряные монеты или бляхи ювелирной работы. Женщины селения Карах (северный Дагестан) подворачивали низ рубахи. Эти рубахи по переду были короче, чем по спинке. Поэтому женщины низ рубахи с изнаночной стороны украшали прямоугольниками из цветных тканей.

Большинство женщин (кумычки, табасаранки, лезгинки, лачки) носили рубаху навыпуск, не подпоясывая ее, другие подпоясывали рубаху матерчатым поясом.

Результаты композиционно-структурного анализа туникообразных рубах представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Деталь или конструктивная линия	Варианты		
	Плечи	прямые	покатые
Рукава	трубообразные с ластовицами	низ обработан манжетами	конической формы с легким расширением по низу
Окат рукава	рельефной формы	гладкий	
Ластовица	ромбовидная		
Наплечные накладки	прямоугольные		
Пройма	невыезная	подкройная	
Лиф	с втачной вставкой по центру полочки	с накладной вставкой по центру полочки	переднее полотнище длиннее заднего
Боковые клинья	в форме трапеции	прямоугольной формы	
Горловина	круглая	мысообразная	Воротник-стойка

Матерчатый пояс – неотъемлемый элемент натальной туникообразной рубахи аварки, лачки, дидойки, рутулки. Это прямоугольный кусок хлопчатобумажной или шелковой ткани, опоясывающий талию и завязанный одинарным узлом. Пояса различались цветом, размером, способом ношения [7]. Аварки поверх рубахи носили пояса, скрученные в жгут, длиной от 1,5 до 5 м в ширину полотна. Наиболее длинные пояса носили молодые женщины, покорооче – пожилые женщины, еще короче – молодые девушки. Обычно пояса были из ткани красного цвета. Только ботлихки носили пояса черного цвета. Особенно длинные пояса, свисавшие спереди до низа рубахи, носили дидойки. Дидойки сами ткали пояса из шерсти и затем красили их в красный цвет. Пояс дидойки был длиной 2-3 м и шириной 20-30 см.

Горные даргинки носили пояса из ткани белого цвета 2,5-3,5 м длиной и 30-80 см шириной. Пояс обматывали в два-три оборота вокруг талии, и концы его убирались под пояс по бокам либо завязывались одинарным узлом спереди.

У рутулок пояс имел трехмерную длину и обычную ширину полотна. Его изготавливали из ткани любого цвета, отличной от цвета рубахи. Сложив его в два-три слоя по ширине и обмотав им талию, рутулки завязывали его сзади.

Пояс выполнял функцию карманов. Зимой он выполнял защитную функцию, а при работе в поле смягчал давление груза на спину женщины.

Характеристику поясов приведем в табличной форме (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Композиционно-конструктивный признак	Национальность			
	аварка	дидойка	рутулка	даргинка
Ткань	хлопчатобумажная или шелковая	самотканое полотно из шерсти белого цвета	хлопчатобумажная или шелковая	хлопчатобумажная или шелковая
Размер	длина 1,5-5 м в ширину полотна	длина 2-3 м, ширина 20-25см	длиной 3 м в ширину полотна	длина 2,5-3,5 м, ширина 30-80 см
Цвет	красный	белую шерсть окрашивали в красный цвет	любой, отличный от цвета платья	белый
Способ ношения	скрученный в жгут	обмотав талию, свисает спереди до низа рубахи	обмотав талию, завязывается сзади	концы убирались под пояс по бокам или завязывались узлом спереди

Таким образом, пояса являются древним элементом костюма дагестанки, связанным с туникообразной рубахой. У женщин разных национальностей пояс изготавливался из разных тканей и различался по цвету, способу ношения, размерам.

Широко распространенным типом натальной одежды женщин Дагестана была рубаха, отрезная по линии талии [8]. Она имела полуприлегающий лиф на подкладке, ширина рубахи по линии талии чуть уже ширины плеч. Юбка, состоящая из четырех полотнищ, была длинная, широкая, прямая. Верхний срез юбки по линии талии присборивался или закладывался в мелкие

складочки. Такая рубаха шилась без воротника, с круглым вырезом горловины и вертикальным грудным разрезом до талии. Лиф застегивался на 2-3 прорезные петли и пуговицы. Пройма рубахи прямая, рукава длинные, закрывающие кисть руки целиком, вшитые в проймы с присбориванием по линии проймы. Рукава состояли из двух частей: узкой верхней части (40-45 см в окружности) и широкой нижней части (120-140 см в окружности). Горизонтальный подрез рукавов располагался выше линии локтя, низ рукавов обрабатывали без манжеты. На рубаху этого покроя шло от 6 до 10 м ткани. Повседневные рубахи шили из

хлопчатобумажных тканей, а нарядные – из шелковых. Рубахи этого типа носили лезгинки, табасаранки, кумычки, азербайджанки, реже – даргинки и лачки.

Результаты композиционно-конструктивного анализа рубах, отрезных по линии талии, представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Деталь или конструктивная линия	Варианты		
	прямые	покатые	
Плечи			
Рукава	трубообразные, низ обработан манжетами	прямые с легким заужением книзу, низ обработан манжетами	конической формы с легким расширением по низу и со сборкой по окату
Юбка	гладкой прямоугольной формы	рельефной поверхности в складку одностороннюю	широкое полотнище в сборку
Пройма	невыврезная	подкройная	
Лиф	с круглым вырезом горловины и центральной застежкой до талии		

ВЫВОДЫ

Актуальность данной работы обоснована необходимостью возрождения и сохранения традиций национальной культуры, частью которой, несомненно, является народный костюм.

Анализ конструкции нательной одежды дагестанских женщин позволил выявить особенности взаимосвязей конструктивных элементов:

- прямоугольные плечевые накладки характерны только для туникообразных рубах с прямой линией плеч;
- прямоугольные плечные накладки характерны только для конструкции рубах с невыврезной проймой;
- ластовицы как конструктивные элементы присутствуют в туникообразных рубахах с невыврезной проймой;
- для конструкции рубах с не вырезными проймами характерны трапециевидные боковые клинья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджибекова И.А. Национальное своеобразие народного костюма дагестанцев (на примере женского костюмного комплекса лезгинской группы народов) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4. С. 210...213.
2. Серова Т.М. Методика проведения и некоторые исследования идентификации традиционного костюма народов Дагестана // Мода и дизайн. Исторический опыт – новые технологии: СПГУТД, 2014. С. 162...167.

3. Савельева И.Н. Народный костюм, форма, функция // Декоративное искусство СССР. 1967. №11. С. 13...15.

4. Гаджибекова И.А. Художественно-конструкторский анализ дагестанской народной одежды // Легкая промышленность и сфера сервиса: проблемы и перспективы. Омск: ОмГТУ, 2020. С. 138...142.

5. Серова Т.М. Роль художественного-конструкторского анализа в определении составляющих костюмных комплексов дагестанских народов. М.: МГУТУ, 2014. С. 122...125.

6. Гаджалова Ф.А. Народная вышивка Дагестана: художественно-стилистические особенности, историко-культурные влияния. Махачкала, 2005. С. 62...63

7. Булатова А.Г., Гаджиева С.Ш., Сергеева Г.А. Одежда народов Дагестана: историко-этнографический атлас. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. С. 89...99.

8. Гаджиева С.Ш. Одежда народов Дагестана. М.: Наука, 1981. С. 125...130.

REFERENCES

1. Gadzhibekova I.A. National originality of the folk costume of the Dagestanis (using the example of the women's costume complex of the Lezgin group of peoples) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 4. P. 210...213.
2. Serova T.M. Methodology and some research on identifying the traditional costume of the peoples of Dagestan // Fashion and Design. Historical experience - new technologies. SPb.: SPGUTD. 2014. P. 162...167.
3. Savelyeva I.N. Folk costume, form, function // Decorative art of the USSR. 1967. No. 11. P. 13...15.
4. Gadzhibekova I.A. Artistic and design analysis of Dagestan folk clothing // Light industry and the service sector: problems and prospects: Omsk, OmGTU. 2020. P. 138...142.

5. *Serova T.M.* The role of artistic and design analysis in determining the components of the costume complexes of the Dagestan peoples. M.: MSUTU, 2014. P. 122...125.

6. *Gadzhilova F.A.* Folk embroidery of Dagestan: artistic and stylistic features, historical and cultural influences. Mahachkala. 2005. P. 62...63.

7. *Bulatova A.G., Gadzhieva S.Sh., Sergeeva G.A.* Clothing of the peoples of Dagestan: historical and ethnographic atlas. Pushchino: ONTI PNTs RAS, 2001. P. 89...99.

8. *Gadzhieva S. Sh.* Clothing of the peoples of Dagestan. M.: Science, 1981. P. 125...130.

Рекомендована кафедрой технологии пищевых производств, общественного питания и товароведения Дагестанского государственного технического университета. Поступила 01.12.23.

УДК 677.024

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_211

**ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ УДАРА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОБЪЕКТА
О ТКАНУЮ ПРЕГРАДУ ИЗ АРАМИДНЫХ НИТЕЙ*****NUMERICAL IMPACT MODEL OF A HIGH-SPEED OBJECT
ON A WOVEN BARRIER MADE OF ARAMID THREADS***А.П. ГРЕЧУХИН, А.В. КУЛИКОВ, И.В. СТАРИНЕЦ,
В.Н. ЕРШОВ, П.Н. РУДОВСКИЙ**A.P. GRECHUKHIN, A.V. KULIKOV, I.V. STARINETS,
V.N. ERSHOV, P.N. RUDOVSKY*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: niskstu@yandex.ru

В работе исследованы 3D ортогональные ткани с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования. Данная технология имеет следующие особенности: нити двух уточных систем прокладываются петлей в зоне формирования, вертикальная система нитей одна и перевязка структуры ткани осуществляется в зоне формирования, используется многоуточная технология прокладывания горизонтальных уточных нитей. Приведены результаты конечно-элементного моделирования процесса баллистического воздействия на 3D ортогональную ткань и сравнимый по структуре пакет тканей полотняного переплетения. Степень пробития тканой преграды оценена путем моделирования на основе расчета скорости различных частей проникающего тела и его суммарной кинетической энергии. Установлено, что тканая преграда из 3D ортогональной ткани на 16% эффективнее поглощает кинетическую энергию удара высокоскоростного тела. Результаты моделирования сравнивались с экспериментальными данными. Расхождение составляет около 6%. Моделирование позволило установить влияние компонентов структуры ткани на энергопоглощение. Установлено, что преимущественно энергия гасится за счет трения проникающего тела о нити. Поэтому в дальнейшем необходимо исследовать влияние толщины нитей на степень энергопоглощения тканого материала.

The work investigated 3D orthogonal fabrics with ligation with one system of threads in the formation zone. This technology has the following features: the threads of two weft systems are laid in a loop in the formation zone, there is one

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20089, <https://rscf.ru/project/22-29-20089/>

vertical system of threads and the ligation of the fabric structure is carried out in the formation zone, a multi-weft technology is used for laying horizontal weft threads. The results of finite element modeling of the process of ballistic impact on 3D orthogonal fabric and a package of plain weave fabrics of comparable structure are presented. The degree of penetration of a woven barrier is estimated based on simulation by analyzing the speed of various parts of the penetrating body and its total kinetic energy. It was found that a woven barrier made of 3D orthogonal fabric absorbs the kinetic energy of a high-speed body impact by 16% more effectively. The simulation results were compared with experimental data. The discrepancy is about 6%. Modeling made it possible to establish the influence of tissue structure components on energy absorption. It has been established that the energy is predominantly extinguished due to the friction of the penetrating body on the thread. Therefore, in the future it is necessary to study the influence of thread thickness on the degree of energy absorption of woven material.

Ключевые слова: трехмерная ортогональная ткань, конечно-элементное моделирование, трехмерная модель, поперечное сечение нити, поглощение энергии.

Keywords: three-dimensional orthogonal fabric, finite element modeling, three-dimensional model, thread cross-section, energy absorption.

Введение

В статье рассмотрен вопрос численного моделирования высокоскоростного поперечного нагружения текстильных материалов (тканей) различного строения из арамидных нитей. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных при пробитии пульей пакета ткани полотняного переплетения и 3D ортогональных тканей, которые получили широкое распространение в качестве средств бронезащиты и армирующих основ композитов [14].

В работе впервые исследованы 3D ортогональные ткани с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования [5]. Данная технология имеет следующие особенности: нити двух уточных систем прокладываются петлей в зоне формирования, вертикальная система нитей одна и перевязка структуры ткани осуществляется в зоне формирования, используется многоуточная технология прокладывания горизонтальных уточных нитей.

Материалы и методы

Численное моделирование проводилось с использованием метода конечных элементов с явной схемой интегрирования.

На основе методики расчета поверхностной плотности трехмерных ортогональных тканей, изложенной в работах [6...8], а также методики создания 3D модели [9] получены модели для расчета тканей полотняного переплетения и 3D ортогональных тканей. Принято допущение, что до потери прочности арамидные нити подчиняются закону Гука. Это допущение подтверждено многими исследованиями [10...15]. Также учтен эффект влияния скорости деформирования на модули упругости и предел прочности арамидных волокон [13, 16, 17]. Для нитей используется упругая модель с повреждением материала за счет снижения основного модуля упругости волокна.

Расчетные модели построены таким образом, чтобы основная ось волокон в нитях была расположена вдоль волокна. Модули упругости второго порядка, а также модули сдвига приняты на 2-3 порядка меньше основного модуля упругости [10, 12]. Плотность материала нитей и модули упругости определены с учетом объемной доли волокна.

Использованы конечные элементы с одной точкой интегрирования, основным недостатком которых является необходимость управления возникающими режимами с нулевой энергией, называемыми режимами «песочных часов» (*hourglass*). В ходе моделирования данная энергия должна быть как можно меньше. В представленном исследовании использовался способ контроля режимов с нулевой энергией по жесткости [18].

Для контроля проникновения элементов друг в друга и порождения отрицательной контактной энергии контролировалась энергия трения и общая контактная энергия. Все контакты определены контактной моделью с эрозией элементов и обновлением контактной поверхности.

Материал пули моделировался с использованием модели Джонсона-Кука с

уравнением состояния Ми-Грюнаизена [13]. Это позволяет учитывать деформацию и разрушение пули. Пуля состоит из оболочки, стального сердечника и свинцовой рубашки.

Экспериментальные исследования образцов выполнены путем поперечного сквозного пробития образцов с фиксацией скорости пули на входе и выходе образца. Скорость пули 895 м/с. Размер образца 10×10 см. По степени падения скорости пули определяется степень соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Исследованы несколько образцов тканей: два типа 3D ортогональной ткани и один образец ткани полотняного переплетения. Исходные данные представлены в табл. 1, свойства нитей – в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Параметр	Обозначение	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Тип ткани		3D ортогональная	3D ортогональная	полотняное переплетение
Количество слоев нитей	K_v	8	8	7
Расстояние между нитями основы, мм	L_o	4	4	2
Расстояние между нитями утка, мм	L_{yg}	2,20	2,01	2
Плотность материала нити, кг/м ³	ρ	1440	1440	1440
Линейная плотность основных нитей, текс	T_o	644	644	644
Суммарная линейная плотность уточных горизонтальных нитей, текс	T_g	644	644	644
Линейная плотность уточных вертикальных нитей, текс	T_v	644	322	-
Толщина ткани, мм	B	6,49	6,27	6,32
Поверхностная плотность ткани, кг/м ²	M	4,750	4,705	4,760

Т а б л и ц а 2

Параметр	Образец 1		Образец 2		Образец 3
Модули упругости E , Па					
E_1	104,5	126,9	104,5	126,9	126,9
E_2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
E_3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Модули сдвига G , Па					
G_{13}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
G_{12}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
G_{23}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Плотность нити, кг/м ³	1,008	1,224	1,008	1,224	1,224

Поперечники нитей кромки в 3D ортогональных тканях и крайние нити утка 8 слоя моделировались в виде окружностей и половины эллипса соответственно с объемной долей волокна 0,85 в нитях, остальные сечения нитей были представлены в виде прямоугольников с объемной долей

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/(E_{11}(1-d)) & -v_{21}/E_{22} & -v_{31}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -v_{12}/E_{11} & 1/E_{22} & -v_{32}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -v_{13}/E_{11} & -v_{23}/E_{22} & 1/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2G_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2G_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2G_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где E_{ij} – модули упругости; G_{ij} – модули сдвига; v_{ij} – коэффициенты Пуассона; ε_{ij} – деформации; σ_{ij} – напряжения; d – параметр повреждения.

Параметр повреждения определяется по формуле:

$$d = D \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_s}{\varepsilon_c - \varepsilon_s} \right), \quad (2)$$

где ε_s – деформация, при которой начинаются повреждения; ε_c – деформация, при которой происходят критические повреждения; D – параметр, характеризующий падение значения модуля упругости при достижении значения модуля упругости при достижении критических повреждений.

С учетом модели повреждений график, отражающий зависимость напряжения от деформации вдоль оси волокна, представлен на рис. 1.

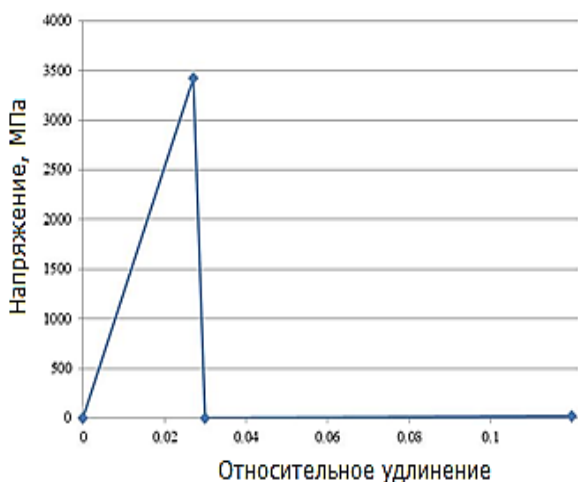


Рис. 1

волокна в нити 0,7. В ткани полотняного переплетения поперечники всех нитей моделировались в виде эллипсов, а объемная доля волокна составляла 0,85.

Связь между деформацией и напряжениями представлена в виде зависимости:

Параметры для расчета повреждений: $D=0,999$; $\varepsilon_s = 0,027$; $\varepsilon_c = 0,03$. Разрушение элемента и исключение из расчета происходит при удлинении 12%.

По каждому образцу проводили 6 выстрелов.

Результаты и обсуждение

Один из образцов (образец ткани №1 в табл. 1) после эксперимента представлен на рис. 2.

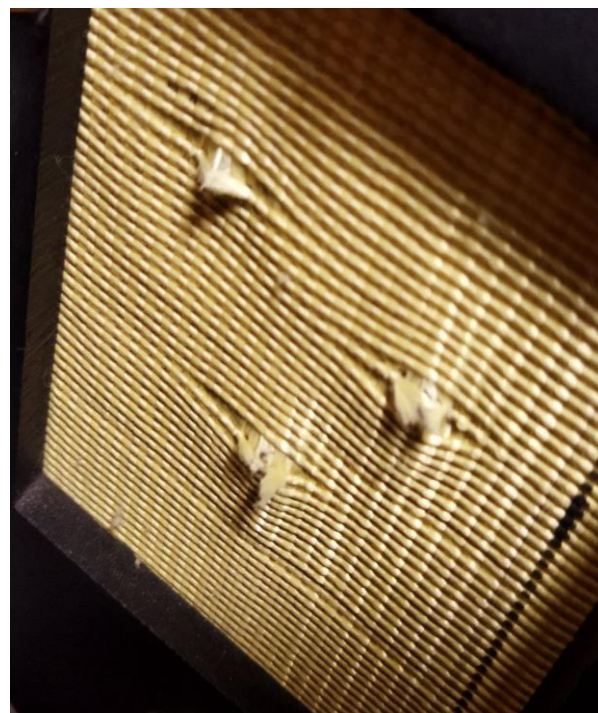


Рис. 2

Результат моделирования пробития образца ткани №1 представлен на рис. 3.

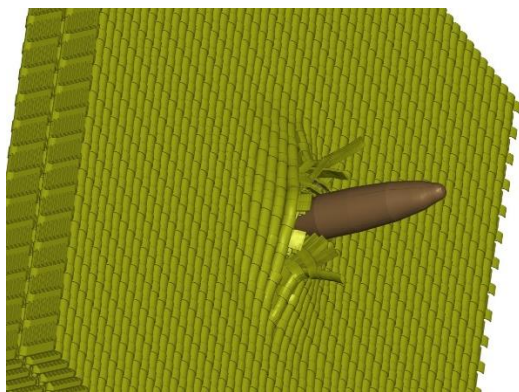


Рис.3

График изменения скоростей оболочки пули представлен на рис. 4.

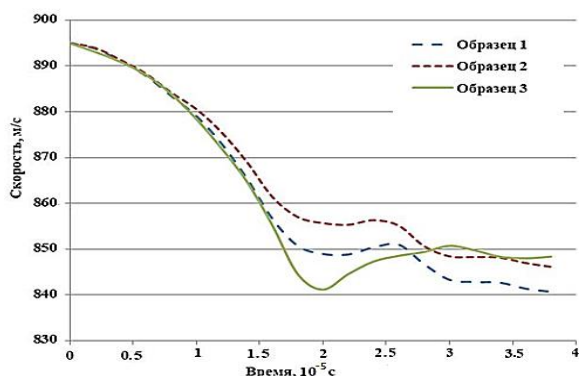


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что на выходе из ткани минимальная скорость оболочки пули при пробитии образца № 1, а максимальная –

образцов №2 (3D ортогонального переплетения) и №3 (полотняного переплетения). Расчетная скорость различных частей пули различна, и поэтому судить о степени замедления пули необходимо, анализируя замедление всех ее частей. Это можно сделать, построив график изменения кинетической энергии всех частей пули (рис. 5).

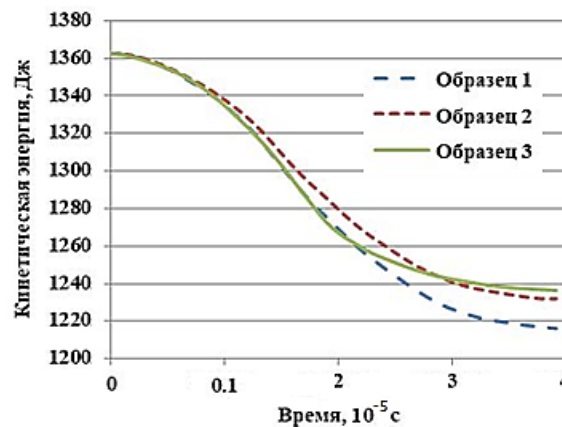


Рис. 5

В целом по сравнению с тканью полотняного переплетения поглощение кинетической энергии пули в 3D ортогональной ткани выше на 16%.

Соотношения внутренней энергии, энергии «песочных часов», контактной энергии и энергии трения представлены на рис. 6.

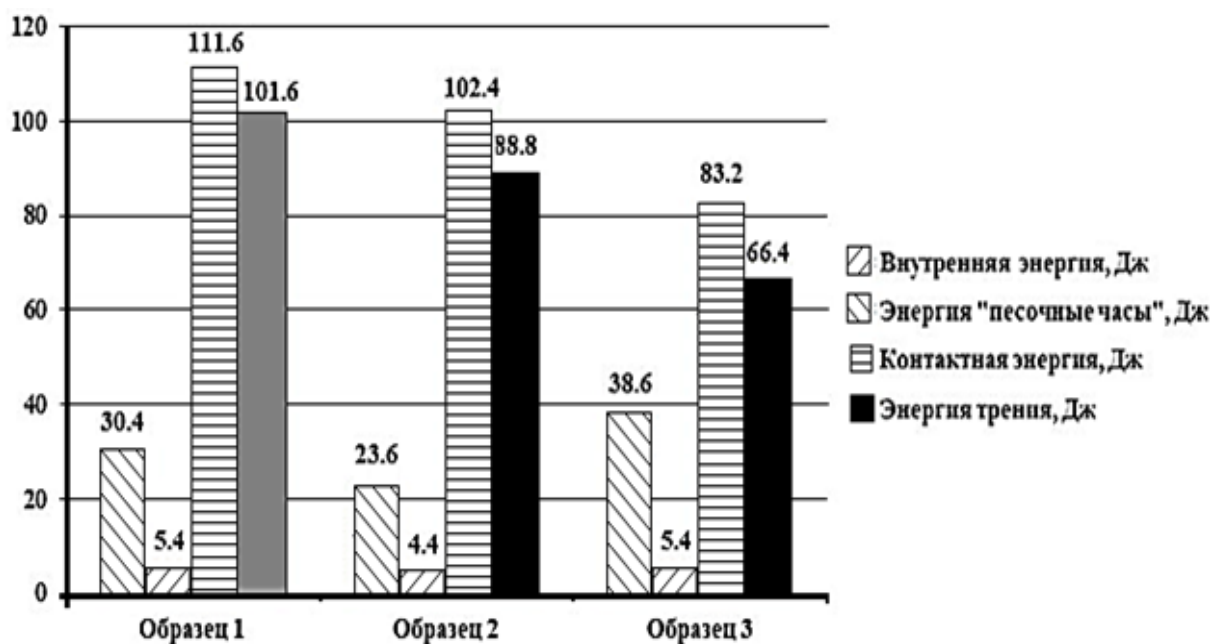


Рис. 6

Т а б л и ц а 3

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Скорость пули на выходе, м/с (эксперимент)	51,4	46,1	45,9
Скорость пули на выходе, м/с (расчет)	54,3	48,9	46,6
Отклонение, %	5,6	6,1	1,5

ВЫВОДЫ

1. Степень пробития тканой преграды можно оценивать на основе моделирования путем расчета скорости различных частей пули и ее суммарной кинетической энергии.

2. Установлено, что тканая преграда из 3D ортогональной ткани на 16% эффективнее поглощает кинетическую энергию пули. Преимущественно энергия гасится за счет трения пули о нити. Поэтому в дальнейшем необходимо исследовать влияние толщины нитей на степень энергопоглощения тканого материала.

3. Расчетная энергия контактного взаимодействия монотонно возрастает и не падает. Энергия, которая затрачивается на подавление нетипичного деформирования конечных элементов («песочные часы»), составляет до 20 % от внутренней энергии всей расчетной системы и менее 5 % от энергии, приводящей к разрушению материала, что свидетельствует об удовлетворительном качестве моделирования.

4. Образцы 3D ортогональной ткани с более тонкими нитями вертикального утка более эффективны, чем те, у которых данная нить в 2 раза толще.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bilisik K., Karaduman N. S., Bilisik N. E. 3D-fabricsfortechnical textile applications // *Non-woven Fabrics*. Intec. 2016. P. 81...141.

2. Xiwen J., Zihui X., Bohong G. Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // *International Journal of Damage Mechanics*. 2015. Vol. 24. P. 338...362.

3. Rajesh M., Bijoya K.B., Jiri M. Impact simulation of three-dimensional woven kevlar-epoxy // *Journal of industrial textiles*. 2016. Vol. 45. P. 978...994.

4. Bandaru A.K., Vikrant V.C., Suhail A., Ramasamy A., Naresh B. Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors // *International Journal of Impact Engineering*. 2016. P. 1...13.

5. Пат. 2643659 РФ. Способ формирования трехмерной ортогональной ткани.

6. Гречухин А.П., Хабибуллоев А., Рудовский П.Н., Рудовский М.Д. Методика расчета поверхностной плотности трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. № 4. С. 113...120.

7. 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.

8. Гречухин А.П., Рудовский П.Н. Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. Кострома: КГУ, 2017. 171 с. – ISBN 978-5-8285-0917-1.

9. Гречухин А.П., Хабибуллоев А., Рудовский П.Н., Старинец И.В., Куликов А.В. Методика 3D-моделирования трехмерных ортогональных тканей // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2023. № 1 (403). С. 133...138.

10. Tran P., Ngo T., Yang E.C., Mendis P., Humphries W. Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // *International Journal of Damage Mechanics*. 2014. Vol. 23. P. 359...376.

11. Nilakantan G., Suzanne H., Halls V., Zheng J.Q. Virtual ballistic impact testing of Kevlar soft armor: Predictive and validated finite element modeling of the V0 – V100 probabilistic penetration response // *Defence Technology*. 2018. P. 213...225.

12. Игнатова А.В., Долганина Н.Ю., Сапожников С.Б., Шаблей А.А. Поверхностная обработка арамидной ткани и ее влияние на механику фрикционного взаимодействия нитей // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2017. № 4. С. 121...137. – DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.

13. Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B. Yarn-level modelling of woven and unidirectional thermoplastic composite materials under ballistic impact // *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2016. 3. P. 108...119.

14. Rao M.P., Duan Y., Keefe M., Powers B.M., Boggetti, T. Modeling the effects of yarn material properties and friction on the ballistic impact of a plain-weave fabric // *Composite Structures*. 2009. 89. P. 556...566. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2008.11.012.

15. Gasser A., Boisse P., Hanklar, S. Mechanical behaviour of dry fabric reinforcements. 3D simulations versus biaxial tests // *Computational Materials Science*.

2000. 17. P. 7...20. – DOI: 10.1016/S0927-0256(99)00086-5.

16. *Tan V.B.C., Zeng X.S., Shim V.P.W.* Characterization and constitutive modeling of aramid fibers at high strain rates // *International Journal of Impact Engineering*. 2008. Vol. 35. P. 1303...1313. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.07.010.

17. *Zhu D., Mobasher B., Rajan S.D.* Experimental Study of Dynamic Behavior of Kevlar 49 Single Yarn // *Dynamic Behavior of Materials*, Vol. 1. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer, New York, 2011. – https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8228-5_21.

18. LS-DYNA Theory Manual – Livermore: Livermore Software Technology Corporation. 2019. 886 p.

REFERENCES

1. *Bilisik K., Karaduman N. S., Bilisik N. E.* 3D-fabricsfortechanical textile applications // *Non-woven Fabrics*. Intec. 2016. P. 81...141.

2. *Xiwen J., Zihui X., Bohong G.* Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // *International Journal of Damage Mechanics*. 2015. Vol. 24. P. 338...362.

3. *Rajesh M., Bijoya K. B., Jiri M.* Impact simulation of three-dimensional woven kevlar-epoxy // *Journal of industrial textiles*. 2016. Vol. 45. P. 978...994.

4. *Bandaru A.K., Vikrant V.C., Suhail A., Ramasamy A., Naresh B.* Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors // *International Journal of Impact Engineering*. 2016. P. 1...13.

5. Russian patent No. 2643659. Method of formation of three-dimensional orthogonal fabric.

6. *Grechukhin A.P., Khabibulloev A., Rudovsky P.N., Rudkovsky M.D.* Calculation methods for surface density of three-dimensional orthogonal fabrics with a single thread system tying in the forming zone // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. № 4. P. 113...120.

7. *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.

8. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* Development of theory of structure and formation of single-layered fabrics. Kostroma: KSU, 2017. 171 p. – ISBN 978-5-8285-0917-1.

9. *Grechukhin A.P., Khabibulloev A., Rudovsky P.N., Starinets I.V., Kulikov A.V.* Method for 3D modeling of three-dimensional orthogonal fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. № 1 (403). P. 133...138.

10. *Tran P., Ngo T., Yang E.C., Mendis P., Humphries W.* Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // *International Journal of Damage Mechanics*. 2014. Vol. 23. P. 359...376.

11. *Nilakantan G., Suzanne H., Halls V., Zheng J.Q.* Virtual ballistic impact testing of Kevlar soft armor: Predictive and validated finite element modeling of the V0 – V100 probabilistic penetration response // *Defence Technology*. 2018. P. 213...225.

12. *Ignatova A.V., Dolganina N.Yu., Sapozhnikov S.B., Shabley A.A.* Aramid fabric surface treatment and its impact on the mechanics of yarn's frictional interaction // *PNRPU Mechanics Bulletin*, 2017, no. 4, P. 121...137. – DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.

13. *Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B.* Yarn-level modelling of woven and unidirectional thermoplastic composite materials under ballistic impact // *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2016. 3. P. 108...119.

14. *Rao M.P., Duan Y., Keefe M., Powers B.M., Boggetti, T.* Modeling the effects of yarn material properties and friction on the ballistic impact of a plain-weave fabric. // *Composite Structures*. 2009. 89. P. 556...566. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2008.11.012.

15. *Gasser A., Boisse P., Hanklar, S.* Mechanical behaviour of dry fabric reinforcements. 3D simulations versus biaxial tests // *Computational Materials Science*. 2000. 17. P. 7...20. – DOI: 10.1016/S0927-0256(99)00086-5.

16. *Tan V.B.C., Zeng X.S., Shim V.P.W.* Characterization and constitutive modeling of aramid fibers at high strain rates // *International Journal of Impact Engineering*. 2008. Vol. 35. P. 1303...1313. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.07.010.

17. *Zhu, D., Mobasher, B., Rajan, S.D.* Experimental Study of Dynamic Behavior of Kevlar 49 Single Yarn // *Dynamic Behavior of Materials*, Volume 1. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer, New York, 2011. – https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8228-5_21.

18. LS-DYNA Theory Manual – Livermore: Livermore Software Technology Corporation. 2019. 886 p.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования ткани и трикотажа Костромского государственного университета. Поступила 28.11.23.

УДК66.081.6

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_218

**УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН
ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДЕОКСИГЕНАЦИИ АБСОРБЕНТОВ CO₂
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ КОНТАКТОРОВ ГАЗ-ЖИДКОСТЬ***

**STABILITY OF COMPOSITE MEMBRANES FOR THEIR APPLICATION
IN THE DEOXYGENATION PROCESS OF CO₂ SOLVENTS
USING GAS-LIQUID MEMBRANE CONTACTORS**

Д.О.КАЛМЫКОВ, С.А.ШИРОКИХ, С.П.МОЛЧАНОВ, Т.С.АНОХИНА, С.Д.БАЖЕНОВ

D.O.KALMYKOV, S.A.SHIROKIH, S.P.MOLCHANOV, T.S.ANOKHINA, S.D.BAZHENOV

(Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН)

(A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis RAS)

E-mail: denis.kalmykov@ips.ac.ru

Данная работа посвящена изучению устойчивости композиционных мембран с тонким селективным слоем из поли[1-(триметилсилил)-1-пропина] на керамических и полимерных пористых подложках к воздействию модельных алканоламиновых абсорбентов диоксида углерода. Показано, что при выдерживании данных мембран в течение не менее 14 суток при 100 °С морфология поверхности и структура селективного слоя практически не изменяются, а транспортные характеристики мембран уменьшаются незначительно.

This work is devoted to studying the resistance of composite membranes with a thin selective layer of poly[1-(trimethylsilyl)-1-propyne] on ceramic and polymeric porous supports to the exposure to model amine CO₂ solvents. It has been shown that when these membranes are kept at 100°C for at least 14 days, the surface morphology and structure of the selective layer remain practically unchanged, while the transport characteristics of the membranes decrease insignificantly.

Ключевые слова: мембранный контактор, деоксигенация, алканоламин, устойчивость мембран.

Keywords: membrane contactor, deoxygenation, alkanolamine, membrane stability.

*Работа выполнена на базе ИНХС РАН при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 21-79-10400.

Введение

Проблема выделения углекислого газа из различных газовых смесей приобретает все большее значение как с точки зрения загрязнения окружающей среды, так и в плоскости технического использования газа [1, 2]. Наиболее распространенным промышленным способом извлечения CO_2 при обработке производственных газов является абсорбция с применением растворов алканоламинов [3]. Однако данный метод имеет ряд требующих особого внимания особенностей. В частности, присутствующий в газовой смеси [4] или растворенный при контакте абсорбента с атмосферой [5] кислород приводит к окислительной деструкции абсорбента [6], дальнейшей коррозии оборудования [7, 8] и формированию различных соединений термостабильных солей [9] и потому требует своевременного удаления.

Перспективным решением выглядит извлечение растворенного кислорода из аминовых абсорбентов (деоксигенация) в мембранных контакторах газ-жидкость [10] с применением мембран композиционного типа. Газо-жидкостные системы в сравнении с альтернативными технологиями обладают рядом преимуществ, в частности, простотой и модульностью конструкции, отсутствием вспенивания абсорбента, контролируемой поверхностью массопереноса [11...13]. При этом использование композиционных мембран обусловлено свойствами тонких полимерных слоев, защищающих пористые мембраны-подложки от смачивания с последующим снижением их характеристик [14]. Необходимо отметить, что даже при нанесении селективного слоя, барьерного к абсорбенту, возможен контакт пористой подложки и амина из-за его проникновения в пористую структуру в виде паров, что также обуславливает необходимость применения устойчивых к исследуемым средам пористых подложек. Результатом такого контакта может стать нарушение структуры селективного слоя. Данный процесс также зависит от взаимодействия материалов подложки и селективного слоя, а также структуры и морфологии подложки. Следовательно, устойчивость

композиционных мембран будет определяться как материалом подложки, так и материалом селективного слоя, а также их взаимодействием. Таким образом, композиционные мембраны для деоксигенации аминовых абсорбентов должны быть устойчивы в течение длительного времени при повышенных температурах к воздействию используемых в данном процессе сред [10, 15].

В рамках данной работы рассматривалась устойчивость композиционных мембран на химически и морфологически стойких керамических и полисульфоновых подложках с селективным слоем из поли[1-(триметилсилил)-1-пропина] (ПТМСП). Материал селективного слоя выбирался исходя из высокой газопроницаемости и стойкости материалов в аминовых абсорбентах [16]. В рамках данной работы исследована устойчивость композиционных мембран с тонким полимерным селективным слоем, предназначенных для мембранной деоксигенации абсорбентов CO_2 , в средах модельных растворов алканоламинов при повышенных температурах.

Материалы и методы

Получение композиционных мембран

Тонкий селективный слой композиционных мембран для мембранных контакторов готовили из поли[1-(триметилсилил)-1-пропина] (ПТМСП; Gelest Inc., США; $M_w = 250 \cdot 10^3$ г/моль). В качестве подложек для изготовления композиционных мембран использовались химически и термически стойкие корундовые керамические трубчатые ультрафильтрационные мембраны со слоем из карбида кремния и диоксида титана (ООО «Керамикфильтр», Россия), а также полволоконные мембраны из полисульфона (ПСФ). Образцы полволоконных мембран из ПСФ получали методом мокрого формования [17, 18]. Композиционные мембраны получали нанесением на поверхность тонкопористого слоя мембран-подложек 1 мас. % раствора ПТМСП в хлороформе и гексане (ООО «ТД ХИММЕД», Россия), в случае использования керамических и ПСФ подложек соответственно. После нанесения раствора полимера образцы мембран сушили до полного

испарения растворителя в сушильном шкафу.

Изучение устойчивости композиционных мембран к воздействию модельных аминовых абсорбентов

Для оценки устойчивости к воздействию модельных растворов алканоламинов образцы полученных композиционных мембран помещали в герметичные сосуды с 30 мас.% растворами моноэтаноламина (МЭА, ООО «ТД ХИММЕД», Россия), содержащими анионы ТСС [14], и выдерживали при 100 °С в течение не менее 14 сут. После этого мембраны извлекали из растворов, выдерживали при комнатной температуре в этаноле (2 ч) и воде (2 ч) для очистки от остатков модельных абсорбентов, высушивали на воздухе до постоянной массы и исследовали их транспортные характеристики и структуру.

Изучение транспортных и структурных характеристик композиционных мембран

Транспортные (проницаемость, идеальная селективность) характеристики полученных композиционных мембран до и после выдерживания в модельных растворах алканоламинов исследовали волюмометрическим методом с использованием индивидуальных газов N₂, O₂ и CO₂ (МГПЗ, Россия).

Структуру полученных композиционных мембран изучали методом сканирующей

электронной микроскопии (СЭМ) с помощью микроскопа Thermo Fisher Phenom XL G2 (США) на примере сколов мембран, полученных в жидком азоте. Для анализа изменений в морфологии поверхности мембран также был использован метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме. Анализ проводили на сканирующем зондовом микроскопе Horiba Smart SPM (Франция) с использованием зондов компании Nanoandmore (Германия) с параметрами F=330 кГц, C=42 Н/м, L=125 мкм, R ≤ 10 нм.

Результаты и обсуждение

Основным свидетельством пригодности мембран для их применения в мембранных контакторах является стабильность их транспортных характеристик во времени при контакте с рабочими средами. Оценка стабильности композиционных мембран, полученных на основе подложек различного типа (трубчатых керамических и полволоконных полимерных), проводилась на основании определения их проницаемостей по индивидуальным газам (N₂, O₂, CO₂) и идеальных селективностей по парам этих газов до и после их выдерживания в 30 мас.% растворах МЭА, содержащих анионы ТСС. В табл. 1 представлены транспортные характеристики композиционных мембран до и после обработки модельным аминовым абсорбентом.

Т а б л и ц а 1

Мембрана		Керамика + ПТМСП до обработки	Керамика + ПТМСП после обработки
Проницаемость, м ³ (н.у.)·(м ² ·ч·бар) ⁻¹	N ₂	3,3 ± 0,1	2,2 ± 0,1
	O ₂	5,1 ± 0,1	3,0 ± 0,1
	CO ₂	14,2 ± 0,1	8,8 ± 0,1
Идеальная селективность	CO ₂ /N ₂	4,3 ± 0,1	4,0 ± 0,1
	O ₂ /CO ₂	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1
	O ₂ /N ₂	1,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Мембрана		ПСФ + ПТМСП до обработки	ПСФ + ПТМСП после обработки
Проницаемость, м ³ (н.у.)·(м ² ·ч·бар) ⁻¹	N ₂	0,7 ± 0,1	0,3 ± 0,1
	O ₂	1,1 ± 0,1	0,4 ± 0,1
	CO ₂	1,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Идеальная селективность	CO ₂ /N ₂	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,1
	O ₂ /CO ₂	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1
	O ₂ /N ₂	1,6 ± 0,1	1,3 ± 0,1

Видно, что контакт при повышенных температурах в течение длительного времени приводит к снижению транспортных характеристик полученных композиционных мембран на подложках обоих типов. В частности, наблюдалось падение проницаемости по кислороду с 5,1 до 3,0 м³(н.у.)·(м²·ч·бар)⁻¹ для мембран на керамической подложке и с 1,1 до 0,4 м³(н.у.)·(м²·ч·бар)⁻¹ для полволоконных мембран. Результаты свидетельствуют о наличии эффекта «физического старения» материалов селективного слоя композиционных мембран, заключающегося в релаксации элементов свободного объема используемого полимера. При этом значения селективности по парам газов O₂/CO₂ практически не отличались для обоих типов

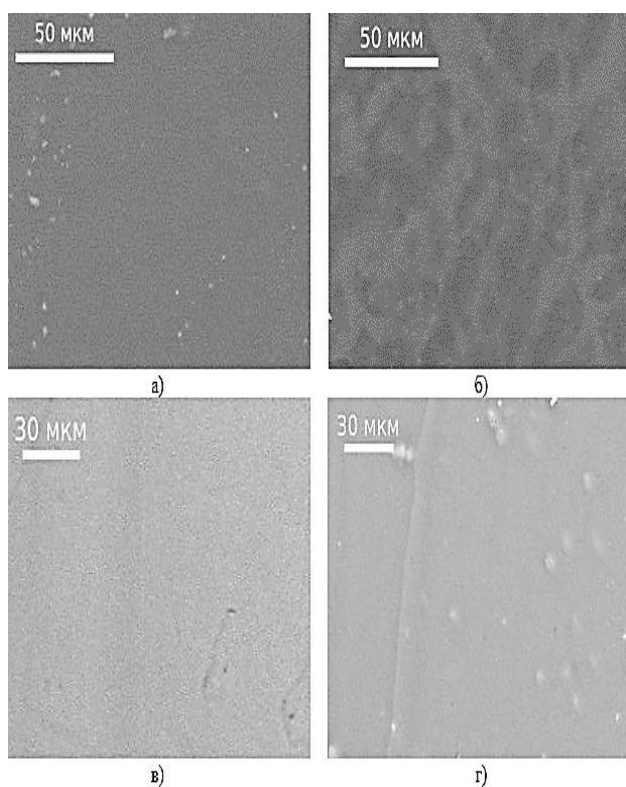


Рис. 1

Видно, что наблюдаются незначительные морфологические изменения поверхности селективного слоя композиционных мембран и его сглаживание. Тем не менее структура селективного слоя не разрушается, видимых отверстий и разрывов не наблюдается, что подтверждает результаты, полученные путем измерения транспортных свойств мембран.

мембран. Так, например, в случае мембраны на керамической подложке с селективным слоем из ПТМСП идеальная селективность по паре CO₂/N₂ снизилась от 4,3 до 4,0, что говорит о незначительной деградации композиционных мембран и их потенциальной применимости в мембранных контакторах газ-жидкость для деоксигенации алканолминовых абсорбентов диоксида углерода.

Для подтверждения устойчивости к воздействию модельных растворов алканолминов полученных композиционных мембран исследованы структура и морфология поверхности селективного слоя мембран по данным СЭМ и АСМ до и после их выдерживания в 30 мас.% растворах МЭА (рис. 1 и 2 соответственно).

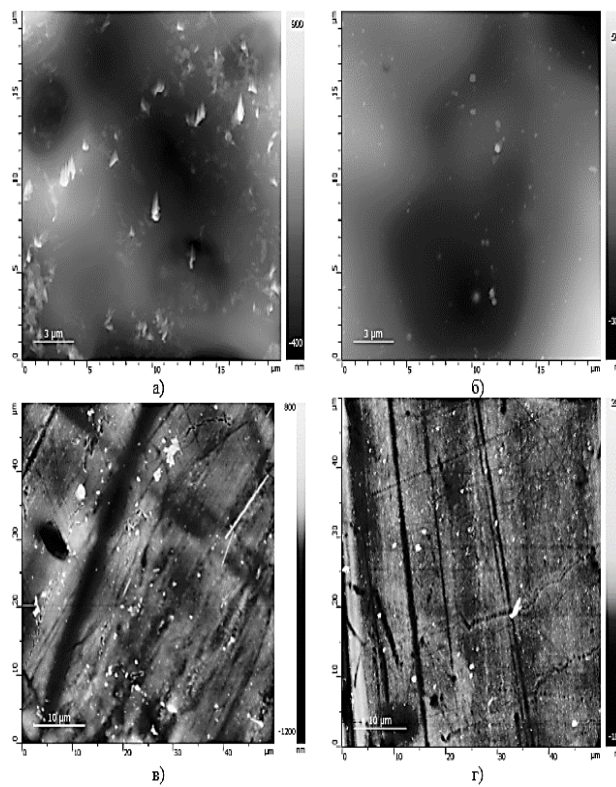


Рис. 2

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости композиционных мембран с селективным слоем из кремнийсодержащего стеклообразного полимера ПТМСП как на трубчатых керамических, так и полволоконных полимерных пористых подложках к воздействию модельных

растворов алканоламинов, содержащих продукты деградации, при повышенной температуре в течение не менее 14 сут. Следовательно, полученные композиционные мембраны могут быть успешно применены для деоксигенации алканоламиновых абсорбентов диоксида углерода в мембранных контакторах газ-жидкость.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Лагутину П.Г. за помощь в получении экспериментальных данных по газопроницаемости композиционных мембран.

Авторы благодарят Бахтина Д.С. за получение СЭМ изображений композиционных мембран.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tapia J.F.D., Lee J.-Y., Ooi R.E., Foo D.C., Tan R.R.* A review of optimization and decision-making models for the planning of CO₂ capture, utilization and storage (CCUS) systems // *Sustainable Production and Consumption*. 2018. V. 13. P. 1...15.

2. *Bazhenov S., Chubokсарov V., Maximov A., Zhdaneev O.* Technical and economic prospects of CCUS projects in Russia // *Sustainable Materials and Technologies*. 2022. Vol. 33. P. e00452.

3. *Gür T.M.* Carbon dioxide emissions, capture, storage and utilization: Review of materials, processes and technologies // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2022. V. 89. P. 100965.

4. *Buvik V., Høiseter K.K., Vevelstad S.J., Knuutila H.K.* A review of degradation and emissions in post-combustion CO₂ capture pilot plants // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2021. V. 106. P. 103246.

5. *Kohl A.L., Nielsen R.B.* Gas purification 5th ed // Houston: Gulf Publishing Company, 1997.

6. *Moser P., Wiechers G., Schmidt S., Monteiro J.G.M.-S., Charalambous C., Garcia S., Fernandez E.S.* Results of the 18-month test with MEA at the post-combustion capture pilot plant at Niederaussem: new impetus to solvent management, emissions and dynamic behavior // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2020. V. 95. P. 102945.

7. *Choi Y.-S., Duan D., Nešić S., Vitse F., Bedell S.A., Worley C.* Effect of Oxygen and Heat Stable Salts on the Corrosion of Carbon Steel in MDEA-Based CO₂ Capture Process // *Corrosion*. 2010. V. 66, N 12. P. 125004-125004-10.

8. *Popoola L.T., Grema A.S., Latinwo G.K., Gutti B., Balogun A.S.* Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation // *International Journal of Industrial Chemistry*. 2013. V. 4, N 1. P. 1...15.

9. *Gouedard C., Picq D., Launay F., Carrette P.-L.* Amine degradation in CO₂ capture. I. A review // *Inter-*

national Journal of Greenhouse Gas Control. 2012. V. 10. P. 244...270.

10. *Figueiredo R.V., Srivastava T., Skaar T., Warning N., Gravesteijn P., Os P. van, Ansaloni L., Deng L., Knuutila H., Monteiro J.* Impact of dissolved oxygen removal on solvent degradation for post-combustion CO₂ capture // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2021. V. 112. P. 103493.

11. *Kim S., Scholes C.A., Heath D.E., Kentish S.E.* Gas-liquid membrane contactors for carbon dioxide separation: A review // *Chemical Engineering Journal*. 2021. Vol. 411. Gas-liquid membrane contactors for carbon dioxide separation. P. 128468.

12. *Simons K., Nijmeijer K., Wessling M.* Gas-liquid membrane contactors for CO₂ removal // *Journal of Membrane Science*, 2009. V. 340, N 1-2. P. 214...220.

13. *Monteiro J., Figueiredo R.V., Bakker D., Stellweg I., Huizinga A., Zahra M.A., Os P. van, Goetheer E.* De-oxygenation as countermeasure for the reduction of oxidative degradation of CO₂ capture solvents // 14th Greenhouse Gas Control Technologies Conference Melbourne. 2018. P. 21...26.

14. *Kalmykov D., Shirokikh S., Grushevenko E.A., Legkov S.A., Bondarenko G.N., Anokhina T.S., Molchanov S., Bazhenov S.D.* Stability of Porous Polymeric Membranes in Amine Solvents for Membrane Contactor Applications // *Membranes*, 2023, Vol. 13, No. 6, P. 544.

15. *Bazhenov S.D.* Prospects for Membrane Deoxygenation of Alkanolamine CO₂ Solvents to Prevent Their Degradation (A Minireview) // *Petroleum Chemistry*. 2022. V. 62, N 6. P. 643...653.

16. *Dibrov G.A., Volkov V.V., Vasilevsky V.P., Shutova A.A., Bazhenov S.D., Khotimsky V.S., Van de Runstraat A., Goetheer E.L.V., Volkov A.V.* Robust high-permeance PTMSP composite membranes for CO₂ membrane gas desorption at elevated temperatures and pressures // *Journal of membrane science*. 2014. V. 470. P. 439...450.

17. *Матвеев Д.Н., Кутузов К.А., Василевский В.П.* Влияние постфильтровой вытяжки на морфологию полволоконных мембран из полисульфона // *Мембраны и мембранные технологии*. 2020. V. 10, N 6. P. 373...379.

18. *Matveev D., Borisov I., Vasilevsky V., Karpacheva G., Volkov V.* Spinning of Polysulfone Hollow Fiber Membranes Using Constant Dope Solution Composition: Viscosity Control via Temperature // *Membranes*. 2022. V. 12, N 12. P. 1257.

REFERENCES

1. *Tapia J.F.D., Lee J.-Y., Ooi R.E., Foo D.C., Tan R.R.* A review of optimization and decision-making models for the planning of CO₂ capture, utilization and storage (CCUS) systems // *Sustainable Production and Consumption*. 2018. V. 13. P. 1...15.

2. *Bazhenov S., Chubokсарov V., Maximov A., Zhdaneev O.* Technical and economic prospects of CCUS projects in Russia // *Sustainable Materials and Technologies*. 2022. Vol. 33. P. e00452.

3. Gür T.M. Carbon dioxide emissions, capture, storage and utilization: Review of materials, processes and technologies // Progress in Energy and Combustion Science. 2022. V. 89. P. 100965.
4. Buvik V., Høisæter K.K., Vevelstad S.J., Knuutila H.K. A review of degradation and emissions in post-combustion CO₂ capture pilot plants // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2021. V. 106. P. 103246.
5. Kohl A.L., Nielsen R.B. Gas purification 5th ed // Houston: Gulf Publishing Company, 1997.
6. Moser P., Wiechers G., Schmidt S., Monteiro J.G.M.-S., Charalambous C., Garcia S., Fernandez E.S. Results of the 18-month test with MEA at the post-combustion capture pilot plant at Niederaussem - new impetus to solvent management, emissions and dynamic behavior // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2020. V. 95. P. 102945.
7. Choi Y.-S., Duan D., Nešić S., Vitse F., Bedell S.A., Worley C. Effect of Oxygen and Heat Stable Salts on the Corrosion of Carbon Steel in MDEA-Based CO₂ Capture Process // Corrosion. 2010. V. 66, N 12. P. 125004-125004-10.
8. Popoola L.T., Grema A.S., Latinwo G.K., Gutti B., Balogun A.S. Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation // International Journal of Industrial Chemistry. 2013. V. 4. N 1. P. 1...15.
9. Gouedard C., Picq D., Launay F., Carrette P.-L. Amine degradation in CO₂ capture. I. A review // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2012. V. 10. P. 244...270.
10. Figueiredo R.V., Srivastava T., Skaar T., Warning N., Gravesteijn P., Os P. van, Ansaloni L., Deng L., Knuutila H., Monteiro J. Impact of dissolved oxygen removal on solvent degradation for post-combustion CO₂ capture // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2021. V. 112. P. 103493.
11. Kim S., Scholes C.A., Heath D.E., Kentish S.E. Gas-liquid membrane contactors for carbon dioxide separation: A review // Chemical Engineering Journal, 2021. Vol. 411. Gas-liquid membrane contactors for carbon dioxide separation. P. 128468.
12. Simons K., Nijmeijer K., Wessling M. Gas-liquid membrane contactors for CO₂ removal // Journal of Membrane Science. 2009. V. 340, N 1-2. P. 214...220.
13. Monteiro J., Figueiredo R.V., Bakker D., Stellwag I., Huizinga A., Zahra M.A., Os P. van, Goetheer E. De-oxygenation as countermeasure for the reduction of oxidative degradation of CO₂ capture solvents // 14th Greenhouse Gas Control Technologies Conference Melbourne. 2018. P. 21...26.
14. Kalmykov D., Shirokikh S., Grushevenko E.A., Legkov S.A., Bondarenko G.N., Anokhina T.S., Molchanov S., Bazhenov S.D. Stability of Porous Polymeric Membranes in Amine Solvents for Membrane Contactor Applications // Membranes. 2023. Vol. 13, No. 6. P. 544.
15. Bazhenov S.D. Prospects for Membrane Deoxygenation of Alkanolamine CO₂ Solvents to Prevent Their Degradation (A Minireview) // Petroleum Chemistry. 2022. V. 62, N 6. P. 643...653.
16. Dibrov G.A., Volkov V.V., Vasilevsky V.P., Shutova A.A., Bazhenov S.D., Khotimsky V.S., Van de Runstraat A., Goetheer E.L.V., Volkov A.V. Robust high-permeance PTMSP composite membranes for CO₂ membrane gas desorption at elevated temperatures and pressures // Journal of membrane science. 2014. V. 470. P. 439...450.
17. Matveev D.N., Kutuzov K.A., Vasilevsky V.P. Effect of Draw Ratio on the Morphology of Polysulfone Hollow Fiber Membranes // Membranes and Membrane Technologies. 2020. Vol. 2, No. 6. P. 351...356.
18. Matveev D., Borisov I., Vasilevsky V., Karpacheva G., Volkov V. Spinning of Polysulfone Hollow Fiber Membranes Using Constant Dope Solution Composition: Viscosity Control via Temperature // Membranes. 2022. V. 12, N 12. P. 1257.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 10.10.23.

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНОЙ ТКАНИ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ЕЕ ОСНОВЕ
ПРИ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА***

**DEVELOPMENT OF A MULTILAYER FABRIC STRUCTURE
AND EXPERIMENTAL STUDY OF ELASTIC PROPERTIES
OF COMPOSITE MATERIAL BASED
ON IT WITH DIFFERENT PRODUCTION TECHNOLOGIES**

*Д.А. ПИРОГОВ^{1,2}, Д.А. МИРОШНИЧЕНКО¹, Л.Б. МАСЛОВ^{3,4}, Т.Ю. КАРЕВА¹, Г.В. ДОЛУНЦ³
D.A. PIROGOV^{1,2}, D.A. MIROSHNICHENKO¹, L.B. MASLOV^{3,4}, T.YU. KAREVA¹, G.V. DOLUNTS³*

¹Ивановский государственный политехнический университет,
²ООО «Текмал»,

³Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

(¹Ivanovo State Polytechnic University,

²LLC «Tekmal»,

³Ivanovo State Power Engineering University n.a. V.I. Lenin,

⁴Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University)

E-mail: pirogov81@mail.ru

В настоящей работе показан процесс получения композиционного материала на основе многослойной ткани. С использованием методов трехмерного моделирования спроектирована многослойная тканая структура. Методом ткачества из углеродных нитей получен образец многослойной ткани. Различными методами получены образцы композиционных материалов. Изготовлены экспериментальные образцы и проведены экспериментальные исследования по определению их модуля Юнга (модуля упругости) в направлении ориентации волокон.

This work shows the process of producing a composite material based on multilayer fabric. Using three-dimensional modeling methods, a multilayer woven structure was designed. Using the method of weaving from carbon threads, a sample of multilayer fabric was obtained. Samples of composite materials were obtained using various methods. Experimental samples were manufactured and experimental studies were carried out to determine their Young's modulus (elasticity modulus). The elastic modules of the samples in different directions of fiber orientation were determined. The results obtained were analyzed and conclusions were formulated.

Ключевые слова: многослойная тканая структура, углеродная нить, эпоксидная смола, композиционный материал, модуль Юнга, прикладная механика.

Keywords: multilayer woven structure, carbon thread, epoxy resin, composite material, Young's modulus, applied mechanics.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-41-370002.

Введение

В современном мире без композиционных материалов (КМ) не обходится ни одна отрасль промышленности. Полимерные композиты, армированные углеродными волокнами, активно применяются в авиа- и ракетостроении, судостроении, электронике, медицине [1].

Существующие технологии автоматизированного проектирования и платформы моделирования открыли новые возможности для прогнозирования структуры и свойств однослойных (2D) и многослойных (3D) текстильных материалов [2]. Несмотря на то, что концепция 3D-ткачества рассматривается как новая концепция, она существует уже давно.

Принципиальное отличие 3D-ткачества от 2D состоит в том, что в двумерных тканях нити основы и утка переплетаются под прямым углом друг относительно друга условно в одной плоскости, в трехмерных же тканях эти системы нитей переплетаются в трех ортогональных направлениях x , y , z . Несмотря на то, что композиты на основе 2D-тканых материалов находят широкое применение в судостроении, авиации и автомобилестроении, все же такие недостатки, как низкая устойчивость к растрескиванию и расслаиванию полимерных материалов при ударной нагрузке, сдерживают их широкое применение.

Чтобы повысить низкую устойчивость к расслаиванию при ударных повреждениях, композиты можно армировать по всей толщине с помощью нитей, стержней или штифтов (Z-армирование). Композиционные материалы, армированные трехмерным тканым материалом, т. е. с армированием по толщине, обеспечивают лучшее поглощение энергии удара и сопротивление расслаиванию [3].

Текстильная основа предотвращает смещение армирующего компонента – нитей, снижает трудозатраты и увеличивает производительность процесса производства композитов [4].

В работах [5, 6] авторы отмечают, что наилучшие качественные показатели дают

объемно-армирующие преформы, созданные методом 3D-ткачества с сочетанием различных переплетений. Они позволяют целенаправленно управлять расположением армирующих элементов (нитей) в композите для обеспечения заданных упруго-деформационных свойств.

Для успешного проектирования, разработки и применения КМ на основе объемных тканых структур необходимо проведение различного рода теоретических и прикладных исследований [7], а для подтверждения достоверности их результатов – проведение опытно-экспериментальных работ по определению физико-механических характеристик проектируемого материала [8, 9].

Целью настоящей работы является создание опытных образцов КМ, полученных различными технологическими методами на основе оптимальной структуры многослойной ткани, и проведение испытаний по определению их упругих свойств.

Материалы и методы

Как известно, для производства любого тканого материала необходимо создание его полного заправочного рисунка, включающего непосредственно рисунок переплетения ткани, схему проборки нитей основы в бердо и ремизки, в случае использования кулачкового и кареточного зевобразовательных механизмов – картон и разрезы ткани вдоль нитей основы и утка. При формировании многослойных тканей, как правило, переплетение строится по разрезу вдоль основы или утка проектируемой ткани с учетом способа соединения слоев. При этом в случае использования тканого материала в качестве армирующей составляющей композита при проектировании его структуры, наряду с прогнозированием физико-механических свойств текстильного материала, необходимо учитывать требуемые физико-механические свойства, назначение и условия эксплуатации композиционного материала на его основе [10].

Для решения поставленной задачи нами при выборе структуры многослойного тканого материала (переплетения и способа соединения слоев ткани) учтены

особенности переработки высокомодульных волокон и нитей, заключающиеся в возможной потере до 50% их первоначальной прочности из-за низкого сопротивления контактным, сжимающим и изгибающим напряжениям [11].

Использование полотняного переплетения в слоях многослойной ткани обеспечило бы наиболее связанную и материалоемкую структуру материала, а следовательно, и получение композиционного материала с наибольшим вложением армирующего компонента, однако при этом нити имели бы наибольшую потерю прочности в связи с максимальной их извитостью. Использование в слоях наименее связанного переплетения из главного класса – атласного – значительно снизило бы внутренние напряжения в нитях от процесса их взаимного переплетения, но, как известно, привело бы к снижению стабильности переплетений в слоях и увеличению асимметрии расположения нитей, что негативно сказалось бы на равномерности заполнения композиционного материала армирующим компонентом. Принимая во внимание вышесказанное, в качестве переплетения нитей в слоях выбрали саржевое как более связанное по сравнению с атласным и менее напряженное по сравнению с полотняным в силу меньшей величины изгиба нитей от их взаимного переплетения.

Многослойная тканая структура может быть образована различными известными способами соединения слоев – как нитями

самых же слоев, так и дополнительными нитями. При проектировании многослойной тканой структуры в качестве основы для композита следует использовать такой способ соединения слоев, при котором нити имели бы наименьший дополнительный изгиб от процесса соединения слоев между собой. Классическая структура многослойного тканого полотна при способе соединении слоев нитями слоев, как правило, для обеспечения наибольшей связанности слоев ткани включает переплетение каждой нити базового переплетения в слоях с предыдущим или последующим слоем ткани. И так на всю ее глубину. При этом дополнительный изгиб от соединения слоев имеет каждая нить базового переплетения.

С целью уменьшения возможной потери прочности нами предложена структура трехслойного тканого материала с базовым переплетением в слоях саржа 1/4 и соединением слоев способом сверху вниз одной нитью каждого слоя базового раппорта. В этом случае соединение слоев происходит только по пятой нити каждого из слоев, что обеспечивает связанность материала в целом и снижение внутренних напряжений в нитях, а следовательно, и в материале по сравнению с соединением слоев каждой нитью базового раппорта. Кроме этого такое строение многослойного материала обеспечивает более легкое проникновение связующего в структуру тканого полотна при создании композита.

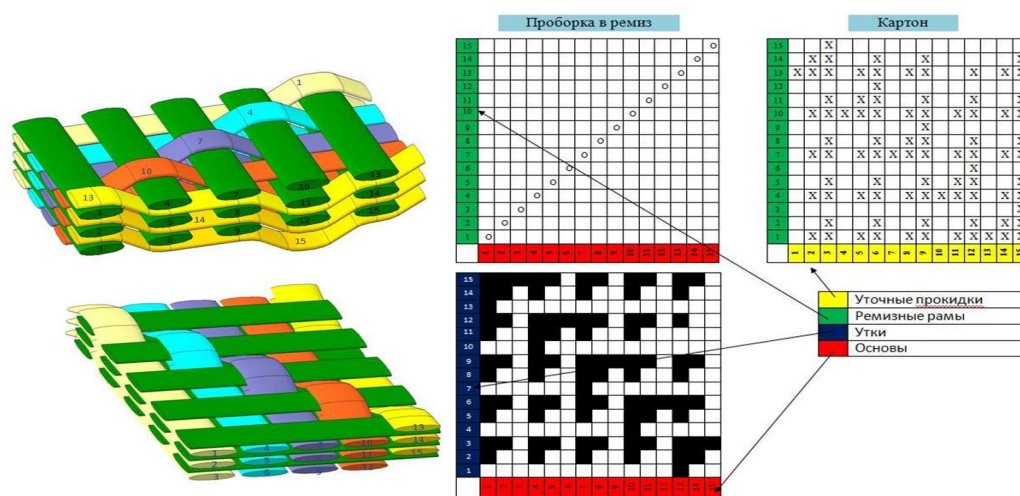


Рис. 1

С использованием инструментов трехмерного моделирования [12] спроектирована объемная тканая структура для производства многослойной ткани. Трехмерная геометрическая модель и ее заправочный рисунок представлены на рис. 1.

Для производства композита в качестве материала для тканой основы использовался ровинг из углеродного волокна, а в качестве связующего – эпоксидная смола. Физико-механические свойства компонентов разрабатываемого КМ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование компонента композита					
Объемная тканая структура			Матрица		
Наименование структурной единицы компонента					
Нити основы		Нити утка	Эпоксидная смола		Отвердитель
Наименование материала компонента					
Углеродное волокно UMT45-12K-EP		LG-700		HG-737	
Характеристики материала					
Предел прочности при растяжении, ГПа	4,5	Плотность, г/см ³	1,18–1,23	Плотность, г/см ³	0,94
Модуль упругости при растяжении, ГПа	260	Вязкость, мПа/с	500–700	Вязкость, мПа/с	10–15
Удлинение при разрыве, %	1,7	Эквивалент эпоксиды, мол/кг	156–165	Аминовое число, мг КОН/г	
Линейная плотность, текс	780	Индекс эпоксиды	0,6–0,64	Водородный эквивалент	48
Объемная плотность, г/см ³	1,78	Цвет, гарднер	макс. 3	Цвет, гарднер	макс. 3
Содержание углерода, %	95				
Тип аппрета	EP				
Массовая доля аппрета, %	0,8–1,5				

Ткацкий и приготовительный процессы организованы и проведены в лаборатории текстильных технологий на базе инжинирингового центра ФГБОУ ВО «ИВГПУ».

Для формирования ткани использовался полуавтоматический ткацкий станок (рис. 2) [13].



Рис. 2



Рис. 3

Процесс снования заключался в создании ткацкого навоя, содержащего 400 нитей из катушки с ровингом длиной 10 км. В результате на основе разработанной многослойной тканой структуры получен образец ткани (рис. 3).

Для получения композитов использовались технологии свободного открытого

ручного формования и вакуумной инфузии [14]. При первом методе образцы укладывались в специально изготовленные формы, заливались связующим и при комнатной температуре выдерживались более 24 часов. При реализации технологии вакуумной инфузии под действием избыточного давления, возникающего в зоне

расположения тканых образцов, подавалась смола и осуществлялась их пропитка. После окончания подачи смолы при комнатной температуре и под давлением образцы выдерживались более 24 часов. Эпоксидная смола и отвердитель подбирались из условия наименьшей вязкости получаемого связующего, чтобы его можно было использовать в обоих способах.

Испытания на трехточечный изгиб [15] проводились в лаборатории сопротивления материалов кафедры теоретической и прикладной механики ФГБОУ ВО «ИГЭУ» на разработанной экспериментальной установке (рис. 4).

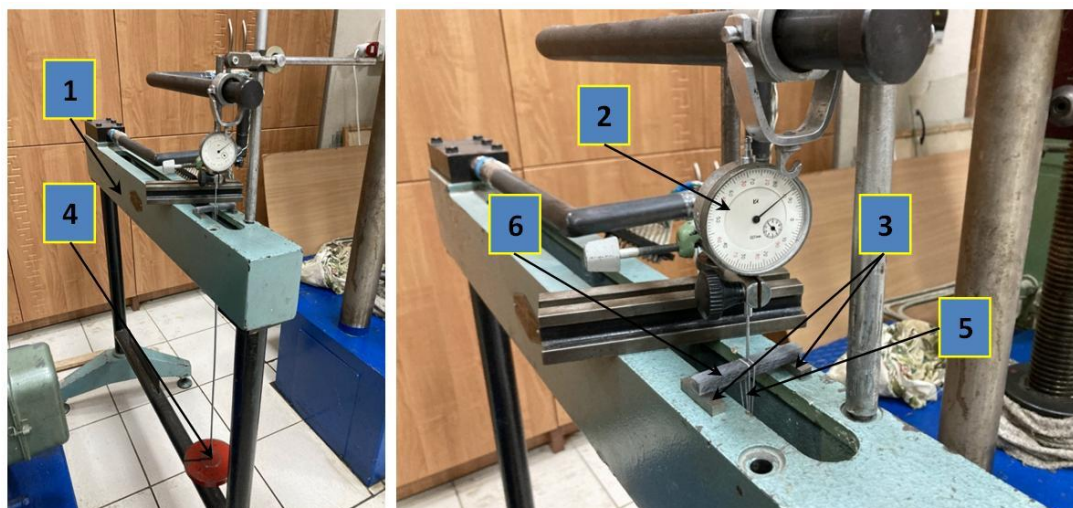


Рис. 4

Испытания проводились следующим образом. Образец 6 устанавливался на опоры 3 и нагружался усилием набора груза 4 посредством капроновой нити 5. При этом индикатором 5 фиксировалось перемещение (прогиб) сечения образца посередине между опорами. Эксперимент с каждым образцом проводился 5 раз с изменением величины груза с разницей в 1 килограмм от 1 до 5 кг. Определялись средние величины приращения силы ΔP и перемещения Δz , моменты инерций поперечных сечений образцов Y_z . Модуль упругости образцов вычислялся по формуле:

$$E = \frac{\Delta P L^3}{48 \Delta z Y_z}. \quad (1)$$

При обработке результатов учитывалась также деформация капроновой нити длиной 10 см и ее модуль Юнга. Ввиду упругости капроновой нити результирующий модуль упругости образца вычислялся по формулам жесткости при после-

довательном соединении упругих элементов [16].

Оценка модуля упругости для испытываемых образцов также проводилась по трехмерной теории упругости с помощью технологий компьютерного моделирования [17] в конечно-элементном комплексе ANSYS.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл.2.

Как видно из табл.2, модуль упругости в направлении нитей основы для обоих методов получения КМ имеет значения, меньшие, чем в направлении утка: в случае открытого формования на 42%, при вакуумной инфузии на 18%. Это может быть объяснено тем, что плотность по утку выше (23 нит./см), чем по основе (20 нит./см), а также разной степенью изогнутости нитей основы и утка в данном многослойном переплетении (на рис. 1 видно, что некоторые нити основы изгибаются больше, чем нити утка).

<i>Экспериментальное определение модуля Юнга композиционных материалов (исследование образцов на изгиб, измерения микрометром)</i>											
Базовое (открытое формование) вдоль основы			Базовое (открытое формование) вдоль утка			Базовое (вакуумная инфузия) вдоль основы			Базовое (вакуумная инфузия) вдоль утка		
Размеры образца, мм	L=64; L _δ =50; b=9.1; h=7.3		Размеры образца, мм	L=69; L _δ =50; b=9.2; h=7.1		Размеры образца, мм	L=62.7; L _δ =40; b=15.2; h=4.9		Размеры образца, мм	L=56; L _δ =40; b=15.2; h=4.8	
Масса образца, г	5.3		Масса образца, г	5.6		Масса образца, г	6.24		Масса образца, г	5.42	
Объемная плотность образца, г/см ³	1,25		Объемная плотность образца, г/см ³	1,25		Объемная плотность образца, г/см ³	1,33		Объемная плотность образца, г/см ³	1,58	
Переменные величины			Переменные величины			Переменные величины			Переменные величины		
№	Нагружение «Р», Н	Прогиб «z», мм	№	Нагружение «Р», Н	Прогиб «z», мм	№	Нагружение «Р», Н	Прогиб «z», мм	№	Нагружение «Р», Н	Прогиб «z», мм
1	9.81	0.012	1	9.81	0.01	1	9.81	0.008	1	9.81	0.007
2	19.62	0.030	2	19.62	0.02	2	19.62	0.0016	2	19.62	0.014
3	29.43	0.050	3	29.43	0.03	3	29.43	0.024	3	29.43	0.021
4	39.24	0.068	4	39.24	0.04	4	39.24	0.032	4	39.24	0.028
5	49.5	0.082	5	49.5	0.05	5	49.5	0.04	5	49.5	0.035
Среднее приращение			Среднее приращение			Среднее приращение			Среднее приращение		
ΔР, Н		Δz, мм	ΔР, Н		Δz, мм	ΔР, Н		Δz, мм	ΔР, Н		Δz, мм
9.81		0.0164	9.81		0.01	9.81		0.0008	9.81		0.007
Модуль упругости, ГПа						Модуль упругости, ГПа					
7.2			12.3			14.4			17.5		

Из табл. 2 следует, что КМ, выполненные по технологии открытого формования, в сравнении с КМ, выполненными по технологии вакуумной инфузии, имеют модуль упругости ниже вдоль нитей основы на 5,1 ГПа и вдоль нитей утка на 3,1 ГПа, что может быть связано с недостатками данной технологии получения КМ. Метод вакуумной инфузии требует использования специальной оснастки, но это оправдывает достигаемый результат.

В отличие от результатов компьютерного моделирования в ANSYS, которые дают значение модуля Юнга для испытуемых образцов в 16 ГПа, результаты экспериментальных вычислений модуля упругости имеют значения несколько ниже, что объясняется неполным соответствием параметров уравнений теории изгиба ба-

лок геометрическим характеристикам образца. Ввиду относительной небольшой длины образца применение трехмерной теории упругости дает более точный результат.

Для достижения равного значения модуля упругости относительно обеих систем нитей необходимо выравнивать плотность нитей по утку и по основе и добиваться равной степени изогнутости нитей, для чего необходимы дополнительные исследования в областях проектирования объемной тканой структуры и технологии 3D ткачества.

ВЫВОДЫ

1. Спроектирована многослойная тканая структура и на ее основе получен образец многослойной ткани.

2. Установлено, что для рассматриваемого переплетения модуль упругости вдоль нитей утка превышает модуль упругости вдоль нитей основы в среднем на 30%.

3. Определено, что модуль упругости возрастает в том направлении, в котором происходит увеличение плотности нитей.

4. Установлено, что значения модуля упругости при получении КМ по методу вакуумной инфузии выше в среднем на 40%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пирогов Д.А., Маслов Л.Б., Клопова К.В.* Композиционные материалы на основе трехмерных тканых многослойных армирующих структур – конструкционные материалы настоящего и будущего // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 61...71.

2. *Vassiliadis S., Kallivretaki A., Domvoglou D., Provatidis C.* Mechanical analysis of woven fabrics: The State of the Art // Advances in modern woven fabrics technology. 2011.

3. *Zhang D., Sun Y., Chen L., Pan N.* A comparative study on low-velocity impact response of fabric composite laminates // Materials & Design. 2019. V. 50. P. 750...756.

4. *Kim K.-Y., Curiskis J. I., Ye, L., Fu S.-Y.* Mode-I Interlaminar Fracture Behaviour of Weft-knitted Fabric Reinforced Composites // Composites: Part A. 2005. V. 36. P. 954...964.

5. *Николаев С.Д., Сергеев В.Т.* Особенности 3D-тканей и способов их изготовления // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 79...84.

6. *Lomov S.V., Bogdanovich A.E., Ivanov D.S.* A comparative study of tensile properties of non-crimp 3D orthogonal weave and multi-layer plain weave E-glass composites // Materials, methods and principal results: Part 1 2009. V. 40 (8). P 1134...1143.

7. *Хеин З.М., Йе Т.Х., Куреев В.А.* Сравнение методик определения упругих и прочностных характеристик полимерных композиционных материалов // Труды МФТИ. 2018. Т. 10, № 2(38). С. 136...145.

8. *Жернаков В.С., Первушин Ю.С., Соловьев П.В.* Исследование упругих характеристик углепластика с 3D структурой // Письма о материалах. 2019. Т.9, №2. С.185...190.

9. *Муйземнек А.Ю., Иванова Т.Н., Карташова Е.Д.* Сопоставление результатов экспериментального и расчетного определения эффективных характеристики упругих свойств полимерных слоистых композитов из угле- и стеклотканей // Вестник Пермского национального исследовательского

политехнического университета. Механика. 2021. № 2. С. 88...105.

10. *Пирогов Д.А. Маслов Л. Б., Тимофеев И.А., Поляничко Е.А.* Моделирование фаз строения объемной тканой структуры и их влияние на упругие свойства композиционного материала на ее основе // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5(401). С. 223...228.

11. *Карева Т.Ю. Барабанищикова И.С., Смирнова Т.В.* Однослойные тканые структуры ортогонального и неортогонального строения для производства композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5(401). С. 52...56.

12. *Муратов Д.В., Пирогов Д.А.* Трехмерное моделирование при проектировании объемной тканой структуры и разработке ее заправочного рисунка // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК-2023). Иваново: ИВГПУ, 2023. С. 123...126.

13. Официальный сайт компании Hefei Fanyuan Instrument Co., Ltd. <https://fyitester.com/for-sale/rapier-sample-loom-dw298/> (дата обращения: 18.11.2023).

14. Официальный сайт ООО "Фирма "Композит ЛТД". – <https://composite.ru/> (дата обращения: 10.11.2023).

15. *Лантев М.Ю., Адамов А.А.* Моделирование процессов деформирования полимерных композиционных материалов на основе тканого препрега при испытаниях на изгиб и межслоевой сдвиг методом короткой балки // Вычислительная механика сплошных сред. 2015. Т. 8, № 3. С. 264...272.

16. *Чаюн И.М.* Жесткость конструкций и их элементов // Труды Одесского политехнического университета. 2010. № 1-2. С. 11...16.

17. *Соловьев А.Н., Зиборов Е.Н., Шевцов С.Н.* Определение упругих свойств армированных композиционных материалов на основе конечно-элементного моделирования // Наука Юга России (Вестник Южного научного центра). 2016. Т. 12, № 2. С. 3...10.

REFERENCES

1. *Pirogov D.A., Maslov L.B., Klopova K.V.* Composite materials based on three-dimensional woven multilayer reinforcing structures - structural materials present and future // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 6(396). P. 61...71.

2. *Vassiliadis S., Kallivretaki A., Domvoglou D., Provatidis C.* Mechanical analysis of woven fabrics: The State of the Art. // Advances in modern woven fabrics technology. 2011.

3. *Zhang D., Sun Y., Chen L., Pan N.* A comparative study on low-velocity impact response of fabric composite laminates // Materials & Design. 2019. V. 50. P. 750...756.

4. Kim K.-Y., Curiskis J. I., Ye, L., Fu S.-Y. Mode-I Interlaminar Fracture Behavior of Weft-knitted Fabric Reinforced Composites // *Composites: Part A*. 2005. V. 36. P. 954...964.
5. Nikolaev S.D., Sergeev V.T. Features of 3d-fabrics and methods for their manufacture // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2018 No. 4 (376). P. 79...84.
6. Lomov S.V., Bogdanovich A.E., Ivanov D.S. A study of comparative tensile properties of non-crimp 3D orthogonal weave and multi-layer plain weave E-glass composites // *Materials, methods and principal results: Part 1* 2009. V. 40 (8). P. 1134...1143.
7. Hein Z.M., Ye T.H., Kireev V.A. Comparison of methods for determining the elastic and strength characteristics of polymer composite materials // *Proceedings of MIPT*. 2018. T. 10, No. 2(38). P. 136...145.
8. Zhernakov V.S., Pervushin Yu.S., Soloviev P.V. Study of the elastic characteristics of carbon fiber reinforced plastic with a 3D structure // *Letters on materials*. 2019. Vol.9. No. 2. P.185...190.
9. Muizemnek A.Yu., Ivanova T.N., Kartashova E.D. Comparison of the results of experimental and computational determination of the effective characteristics of the elastic properties of polymer layered composites made of carbon and glass fabrics // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics*. – 2021. – No. 2. P. 88...105.
10. Pirogov D.A. Maslov L.B., Timofeev I.A., Polyanichko E.A. Simulation of the structure phases of a volume woven structure and their influence on the elastic properties of the composite material based on // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 5(401). P. 223...228.
11. Kareva T.U. Barabanshchikova I.S., Smirnova T.V. Single-layer wovens of orthogonal and non-orthogonal structure for the production of composite materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. No. 5(401). P. 52...56.
12. Muratov D.V., Pirogov D.A. Three-dimensional modeling in the design of a three-dimensional woven structure and the development of its filling pattern // *Young scientists – development of the National Technology Initiative (POISK-2023)*. Ivanovo: IVGPU, 2023. P. 123...126.
13. Official website of Hefei Fanyuan Instrument Co., Ltd. – <https://fyitester.com/for-sale/rapier-sample-loom-dw298/> (access date: 11/18/2023).
14. Official website of LLC "Firm "Composite LTD". – <https://composite.ru/> (access date: 11/10/2023).
15. Laptev M. Yu., Adamov A. A. Modeling of deformation processes of polymer composite materials based on woven prepreg during bending and interlayer shear tests using the short beam method // *Computational mechanics of continuous media*. 2015. T. 8, No. 3. P. 264...272.
16. Chayun I.M. Rigidity of structures and their elements // *Proceedings of the Odessa Polytechnic University*. 2010. No. 1-2. P. 11...16.
17. Soloviev A.N., Ziborov E.N., Shevtsov S.N. Determination of elastic properties of reinforced composite materials based on finite element modeling // *Science of the South of Russia (Bulletin of the Southern Scientific Center)*. 2016. T. 12, No. 2. P. 3...10.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 21.11.23.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПТФЭ
С РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕНТНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА ТИТАНА***

**SIMULATION OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES
OF A COMPOSITE MATERIAL BASED ON PTFE
WITH DIFFERENT CONTENT OF TITANIUM DIOXIDE**

Д.А. КУДРЯВЦЕВА, А.Е. КОМЛЕВ, А.Г. АЛТЫННИКОВ, Р.А. ПЛАТОНОВ

D.A. KUDRYAVTSEVA, A.E. KOMLEV, A.G. ALTYNNIKOV, R.A. PLATONOV

**(Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина))**

(Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»)

E-mail: aekomlev@etu.ru

Наиболее распространенной технологией в современном электронном приборостроении является технология печатных плат. В качестве материала-основы традиционно используется политетрафторэтилен (ПТФЭ), обладающий высокой температурной стабильностью и низким значением диэлектрической проницаемости. Добавление в политетрафторэтилен различных наполнителей позволяет изменять его механические и электрофизические свойства в соответствии с требованиями производства. Например, при добавлении диоксида титана (TiO_2), свойства которого сильно отличаются от свойств ПТФЭ-матрицы, получается уникальный материал с физическими параметрами, зависящими от объемной доли включения, формы и размера его частиц. Это делает данные композиты перспективными материалами для СВЧ-применений в различных отраслях промышленности. Одним из изменяемых параметров является диэлектрическая проницаемость материала ϵ . Таким образом, возникает возможность изменения величины ϵ за счет управления процентным содержанием наполнителя, формой и размером его частиц. Это обуславливает интерес к аналитическим выражениям, описывающим диэлектрическую проницаемость композитного материала. В представленной статье рассматривается ряд математических моделей для оценки влияния процентного содержания керамического наполнителя в ПТФЭ-матрице на величину диэлектрической проницаемости композитного материала. Приведенное сравнение расчетных зависимостей с экспериментальными данными для образца ПТФЭ/ TiO_2 позволяет считать модель эквивалентных емкостей наполнителя со сферической формой частиц оптимальной для определения диэлектрической постоянной в заданном диапазоне объемных долей добавки.

The most common technology in modern electronic instrumentation is the technology of printed circuit boards. Polytetrafluoroethylene (PTFE) is traditionally used as the base material, which has high temperature stability and a low dielectric constant value of 2.1. Addition of various fillers to polytetrafluoroethylene allows

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 075–01438-22-07 от 28 октября 2022 года (FSEE-2022-0019).

changing its mechanical and electrophysical properties in accordance with production requirements. For example, when titanium oxide (TiO_2) is added, the properties of which are very different from those of the PTFE matrix, a unique material with physical parameters depending on the volume fraction of the inclusion, the shape and size of its particles is obtained. This makes these composites promising materials for microwave applications in various industries. One of the variable parameters is the dielectric constant of the material ϵ . Thus, it becomes possible to change the value of ϵ by controlling the percentage of filler, the shape and size of its particles. This leads to an interest in analytical expressions describing the dielectric constant of a composite material. The presented article considers a number of mathematical models to assess the effect of the percentage of ceramic filler in a PTFE matrix on the value of the dielectric constant of a composite material. The comparison of the calculated dependences with experimental data for the PTFE/ TiO_2 sample allows us to consider the model of equivalent filler tanks to a spherical particle shape as optimal for determining the dielectric constant in a given range of volume fractions of the additive.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, диэлектрическая проницаемость, композитный материал, диэлектрик, наполнитель.

Keywords: polytetrafluoroethylene, permittivity, composite material, dielectric, filler.

Введение

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) находит широкое применение в промышленности благодаря своим механическим свойствам и электрофизическим параметрам. Отсутствие явно выраженной частотной и температурной зависимости диэлектрической постоянной и тангенса угла диэлектрических потерь, а также высокая термостойкость, гидрофобность и химическая инертность стали причиной использования ПТФЭ в качестве матрицы композитных материалов [1]. Для увеличения диэлектрической проницаемости композита в ПТФЭ-матрицу вводят различные простые оксиды [2...4]. Одной из самых распространенных добавок является диоксид титана, диэлектрическая постоянная которого – 80, что позволяет создавать ряд композитных материалов с различной диэлектрической проницаемостью в зависимости от процентного содержания наполнителя в ПТФЭ-матрице.

Описание аналитических моделей

Введение добавок позволяет эффективно управлять электрофизическими параметрами получаемого композита, поэтому основной целью данной работы является оценка адекватности существующих

аналитических моделей для определения оптимального процентного содержания добавки без ухудшения механических свойств. Объектом исследования является композитный материал, в котором размеры частиц керамической добавки близки к размерам частиц ПТФЭ-матрицы.

Существует ряд математических моделей, описывающих зависимость диэлектрической проницаемости композита от процентного содержания добавки. Одним из подходов к аналитическому описанию диэлектрической постоянной композитного материала является теория эффективной среды [5]. Данный метод позволяет определить свойства композитного материала по усредненным по некоторому выделенному объему характеристикам. При этом размеры выделенного объема намного превышают размеры частиц компонентов. Таким образом, макроскопическая неоднородная среда рассматривается как однородная с рядом эффективных параметров.

На теории эффективной среды основываются модели Джаясундере [6] и Максвелла Гарнетта [7]. В первой из них в сплошной среде материала-матрицы находится наполнитель в виде сферических

включений одинакового радиуса. Характерной особенностью данной модели является учет дипольного взаимодействия частиц добавки. В модели Максвелла Гарнетта рассматриваются редкие сферические включения произвольного радиуса. Также существует модификация выражения Максвелла Гарнетта, позволяющая рассматривать различные формы частиц с помощью коэффициентов деполяризации для каждой из трех осей, главным условием является равенство их суммы единице [7].

Качественно иной подход к описанию свойств композитного материала лежит в основе модели эквивалентных емкостей [8]. Двухфазная система представляется периодической структурой элементарных ячеек. Ячейка – это включение с высокой диэлектрической проницаемостью, окруженное материалом-матрицей. Учитывая то, что материалы однородны и изотропны, при приложении электрического поля каждую ячейку можно рассматривать как совокупность эквивалентных параллельных и последовательных плоских конденсаторов. В рамках данной модели могут быть рассмотрены включения различной геометрической формы [8...10]. Наиболее простым является представление включения в виде куба и сферы. Для эллипсоидальных и цилиндрических форм структура ячейки перестает быть изотропной, поэтому значение диэлектрической проницаемости определяется для каждой из трех равноправных осей и усредняется.

Результаты исследования

Для сравнения расчетных электрофизических параметров материала с экспериментальными данными были изготовлены композиты на основе ПТФЕ-матрицы с различным содержанием керамического порошка TiO_2 . Объемная доля диоксида титана в образцах составила 5, 10, 15 и 20 процентов. Дальнейшее увеличение процентного содержания приводило к резкому ухудшению механических свойств образцов и не представляет практического интереса. Измерения проводились методом Николсона-Росса-Вейра. Полученные значения диэлектрической проницаемости на частоте 10 ГГц представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

	5% TiO_2	10% TiO_2	15% TiO_2	20% TiO_2
ϵ	2,15	2,35	2,6	2,8

На рис. 1 показана однородность используемого керамического порошка и преобладание сферической формы частиц.

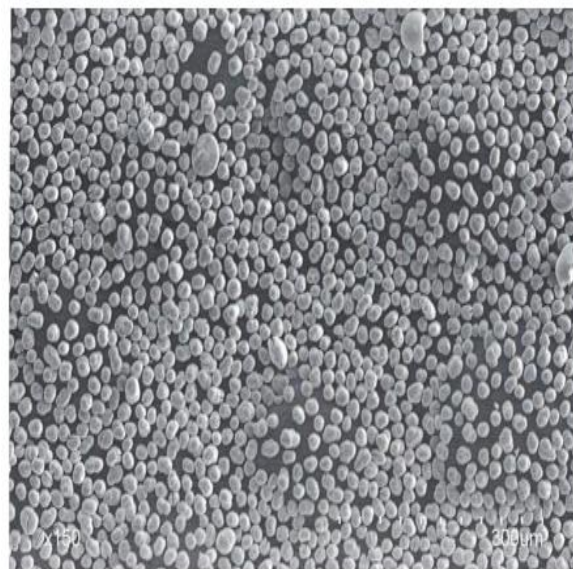


Рис. 1

Результаты расчета величины диэлектрической проницаемости композита ПТФЭ/ TiO_2 в зависимости от процентного содержания наполнителя представлены на рис.2. Наибольшую расхожимость демонстрирует модель Джаясундере. Вероятно, причиной этого является рассматриваемый диапазон малых значений объемной доли диоксида титана в ПТФЭ-матрице. При столь малых объемных долях наполнителя частицы диоксида титана могут находиться на значительном расстоянии друг от друга, что определяет слабое (пренебрежимо малое) взаимодействие между ними. Также высокое расхождение с экспериментальными данными демонстрируют результаты расчета с использованием модели Максвелла Гарнетта несмотря на то, что именно малая концентрация наполнителя является ее основным требованием. На основании этого можно утверждать, что модели, основанные на теории эффективной среды, не эффективны при малом процентном содержании наполнителя.

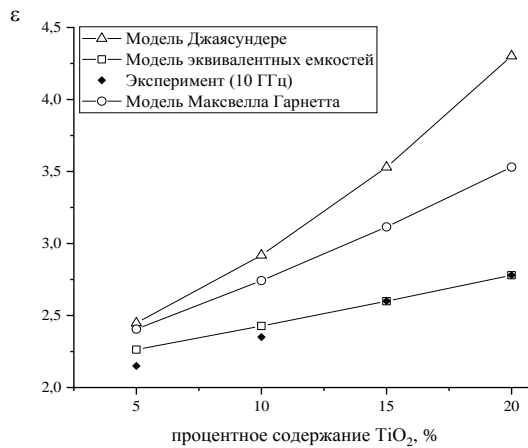


Рис. 2

Наилучшую сходимость с экспериментальными данными демонстрирует модель эквивалентных емкостей.

На рис. 3 представлено сравнение результатов моделирования включений сферической формы по моделям эквивалентных емкостей и Максвелла Гарнетта ($N_x=N_y=N_z=1/3$). Результаты расчета для различных форм представлены на рис.4. Анализ показывает, что изменение формы включений приводит к увеличению расхождения результатов расчетов с экспериментальными данными. Отсюда следует, что выбор сферической формы является оптимальным для определения диэлектрической проницаемости композитного материала, размер частиц керамического наполнителя которого близок к размеру частиц матрицы.

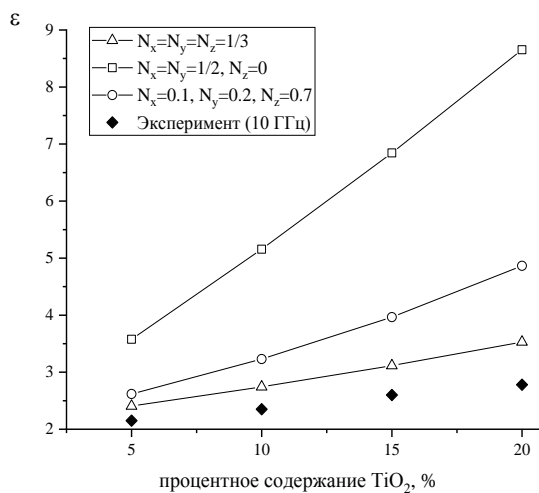


Рис. 3

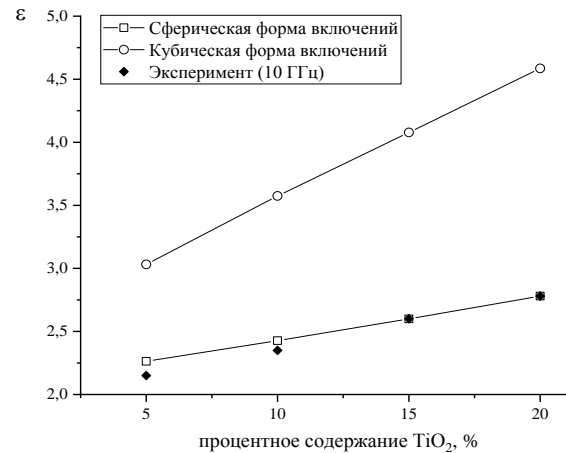


Рис. 4

ВЫВОДЫ

Сравнение результатов моделирования величины диэлектрической проницаемости композитного материала ПТФЭ/TiO₂ в зависимости от процентного содержания наполнителя и экспериментальных данных показало, что применение модели эквивалентных емкостей наиболее корректно по сравнению с моделями, основанными на теории эффективной среды. Для рассматриваемого композита, размеры частиц наполнителя которого близки к размеру частиц ПТФЭ-матрицы, выбор формы включений в виде сферы является наиболее предпочтительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dhanumalayan E., Joshi G. M. Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review // *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2018. V. 1. P. 247...268.
2. Anjana P.S. et al. Low dielectric loss PTFE/CeO₂ ceramic composites for microwave substrate applications // *International journal of applied ceramic technology*. 2008. V. 5, № 4. P. 325...333.
3. Murali K.P. et al. Comparison of alumina and magnesia filled PTFE composites for microwave substrate applications // *Materials Chemistry and Physics*. 2009. V. 113, № 1. P. 290...295.
4. Yuan Y. et al. TiO₂ and SiO₂ filled PTFE composites for microwave substrate applications // *Journal of Polymer Research*. 2014. V. 21, № 2. P. 1...6.
5. Rao Y. et al. A precise numerical prediction of effective dielectric constant for polymer ceramic composite based on effective-medium theory // *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*. 2000. V. 23, № 4. P. 680...683.

6. *Jayasundere N., Smith B.V.* Dielectric constant for binary piezoelectric 0-3 composites // *Journal of Applied Physics*. 1993. V. 73, №. 5. P. 2462...2466.

7. *Koledintseva M.Y. et al.* Representation of permittivity for multiphase dielectric mixtures in FDTD modeling // 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (IEEE Cat. No. 04CH37559). – IEEE, 2004. V. 1. P. 309...314.

8. *Patil S.K. et al.* Prediction of effective permittivity of diphasic dielectrics using an equivalent capacitance model // *Journal of Applied Physics*. 2008. V. 104, №. 7. P. 074108.

9. *Cheng Y. et al.* Study on the dielectric property of composite materials based on electric network // *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 2010. V. 33, №. 1-2. P. 439...445.

10. *Koledintseva M. Y. et al.* Prediction of effective permittivity of diphasic dielectrics as a function of frequency // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2009. V. 16, №. 3. P. 793...808.

REFERENCES

1. *Dhanumalayan E., Joshi G.M.* Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review // *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2018. V. 1. P. 247...268.

2. *Anjana P.S. et al.* Low dielectric loss PTFE/CeO₂ ceramic composites for microwave substrate applications // *International journal of applied ceramic technology*. 2008. V. 5, №. 4. P. 325...333.

3. *Murali K.P. et al.* Comparison of alumina and magnesia filled PTFE composites for microwave substrate applications // *Materials Chemistry and Physics*. 2009. V. 113, №. 1. P. 290...295.

4. *Yuan Y. et al.* TiO₂ and SiO₂ filled PTFE composites for microwave substrate applications // *Journal of Polymer Research*. 2014. V. 21, №. 2. P. 1...6.

5. *Rao Y. et al.* A precise numerical prediction of effective dielectric constant for polymer ceramic composite based on effective-medium theory // *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*. 2000. V. 23, №. 4. P. 680...683.

6. *Jayasundere N., Smith B.V.* Dielectric constant for binary piezoelectric 0-3 composites // *Journal of Applied Physics*. 1993. V. 73, №. 5. P. 2462...2466.

7. *Koledintseva M.Y. et al.* Representation of permittivity for multiphase dielectric mixtures in FDTD modeling // 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (IEEE Cat. No. 04CH37559). – IEEE, 2004. V. 1. P. 309...314.

8. *Patil S.K. et al.* Prediction of effective permittivity of diphasic dielectrics using an equivalent capacitance model // *Journal of Applied Physics*. 2008. V. 104, №. 7. P. 074108.

9. *Cheng Y. et al.* Study on the dielectric property of composite materials based on electric network // *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 2010. V. 33, №. 1-2. P. 439...445.

10. *Koledintseva M.Y. et al.* Prediction of effective permittivity of diphasic dielectrics as a function of frequency // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2009. V. 16, №. 3. P. 793...808.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 01.12.23.

УДК74.01/09

DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_237

**ТРАДИЦИИ ИВАНОВСКОГО ТЕКСТИЛЯ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ
И ПЕРЕОСМЫСЛЕНИЯ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
КАФЕДРЫ ДИЗАЙНА КОСТЮМА И ТЕКСТИЛЯ ИМ. Н.Г. МИЗОНОЙ ИВГПУ**

**TRADITIONS OF IVANOVO TEXTILES AS AN OBJECT OF STUDY
AND REINTERPRETATION IN THE PROJECT ACTIVITIES
OF THE DEPARTMENT OF COSTUME AND TEXTILE DESIGN
NAMED AFTER N.G. MIZONOVA IVSPU**

Н.В. САВИНА, О.В. СУРИКОВА

N.V. SAVINA, O.V. SURIKOVA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail:kletov@mail.ru

Вопрос сохранения и популяризации этнокультурного достояния России особенно актуален в настоящее время. Одним из важных направлений в этой области является бережное отношение к знаниям и навыкам в области текстильного рисунка Ивановского края. Богатая история развития ивановского текстильного орнамента способствовала накоплению опыта мастеров и формированию традиций оформления ивановских набивных тканей. Сегодня эти знания позволяют говорить об ивановском текстиле как уникальном, ярком и самобытном явлении в промышленном дизайне России. Вместе с тем ивановскую школу текстильного дизайна по праву можно отнести к значимым объектам нематериального культурного наследия Ивановской области. Задача ее сохранения решается в рамках образовательной деятельности кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоной Ивановского государственного политехнического университета. В статье рассмотрены основные аспекты работы кафедры, направленные на сохранение и развитие основных идей интеграции современной творческой деятельности с традиционным направлением в искусстве оформления ивановского набивного текстиля. При комплексном рассмотрении процесса проектирования текстильных изделий в рамках работы над дипломными проектами и заданиями по некоторым преподаваемым дисциплинам кафедры выявлена взаимосвязь с орнаментикой, способами и приемами художественного построения узоров ивановских тканей. Это важный аспект в области сохранения нематериального культурного наследия Ивановской области.

The issue of preserving and popularizing the ethno-cultural heritage of Russia is especially relevant nowadays. One of the important directions in this area is a careful attitude to knowledge and skills in the field of textile drawing of the Ivanovo region. The rich history of the development of the Ivanovo textile ornament contributed to the accumulation of the experience of craftsmen and the formation of traditions of the design of Ivanovo printed fabrics. Today, this knowledge allows us to talk about Ivanovo textiles as a unique, bright and distinctive phenomenon in the industrial design of Russia. At the same time, the Ivanovo school of textile design can rightfully be attributed to the significant objects of the intangible cultural heritage of the Ivanovo region. A similar task within the framework of the educational activities of the Department of Costume Design and Textiles named after N.G. Mizonova of the Ivanovo State Polytechnic University is being solved. The article considers the main aspects of the department's work aimed at preserving and developing the main ideas of integrating modern creative activity with the traditional direction in the art of design of Ivanovo printed textiles. A comprehensive review of the process of designing textiles in the framework of work on diploma projects and assignments in some of the taught disciplines of the department revealed the relationship with the organization, methods and techniques of artistic construction of patterns of Ivanovo fabrics. This is an important aspect in the field of preserving the intangible cultural heritage of the Ivanovo region.

Ключевые слова: ивановские ситцы, орнамент, промышленный дизайн, текстильный рисунок, проектная деятельность, нематериальное культурное наследие, традиции.

Keywords: Ivanovo calico, ornament, industrial design, textile drawing, project activity, intangible cultural heritage, traditions.

В настоящей статье в качестве объекта изучения, творческого обобщения и переосмысления нематериального культурного наследия (ОНКН) Ивановской области рассматриваются традиции художественного оформления ивановского текстиля.

Знания и навыки, связанные с использованием декоративно-прикладного народного художественного творчества в традиционном костюме, служат формой выражения данного ОНКН [1].

Данный объект нематериального культурного наследия, бесспорно, обладает исторической и этнологической ценностью.

Богатая история развития ивановского текстильного орнамента способствовала накоплению опыта мастеров и формированию традиций оформления ивановских набивных тканей, которые позволяют сегодня говорить об ивановском текстиле как уникальном, ярком и самобытном явлении в промышленном дизайне России, а ивановскую школу текстильного дизайна по праву

можно отнести к значимым объектам нематериального культурного наследия Ивановской области [1].

Историю развития ивановского набивного текстильного рисунка условно можно разделить на четыре основных периода с характерными для каждого временного отрезка мотивами и способами художественной трактовки рисунка, цветовой колористической гаммы. Среди них выделяют дореволюционный период (XVIII – начала XX вв.), период агитационного текстиля (1920 – 1930-е гг.), довоенный период (конец 1930 – начало 1940-х гг.) и период второй половины XX века.

Принято считать, что текстильные рисунки дореволюционного периода (XVIII – начала XX вв.) имеют стилевую общность с мотивами русского народного декоративно-прикладного творчества (простые геометрические формы, имитация резьбы по дереву, вышивки, фольклорные мотивы), восточного (имитация абровых тка-

ней, изображения восточного «огурца») и западноевропейского искусства (изображения розы, рисунки в стиле мильфлер, кружевные узоры и флорентийские лилии) [2...8]. Сформировавшиеся в этот период художественные особенности оформления текстиля принято считать традиционными, их интерпретации и творческие переосмысления лежали в основе творческой работы мастеров ивановской школы текстильного дизайна и в последующие периоды.

Для периода агитационного текстиля (1920 – 1930 гг.) характерно стремление художников к гармоничному сочетанию традиционных текстильных узоров с новой индустриальной тематикой. Ткани служили отражением и пропагандой образа жизни того времени [6...12].

Текстильный рисунок довоенного периода (конец 1930 – начало 1940-х гг.) имеет стилистическую общность с особенностями оформления тканей в дореволюционный период и характеризуется возвращением к традиционным растительным и геометрическим формам [6,13].

Период второй половины XX века – интересное продолжение богатой традициями ивановской школы текстильного дизайна. В основе творческой работы мастеров текстильного рисунка лежит стремление создания индивидуального авторского стиля, который формирует новые стилевые решения в художественном оформлении тканей [14...19].

Таким образом, представленное обобщение художественных качеств оформления ивановских тканей в разные исторические периоды позволяет говорить об ивановском текстиле как особенном, сложном и самобытном явлении в промышленном дизайне России, а ивановскую школу текстильного дизайна по праву можно отнести к значимым объектам нематериального культурного наследия Ивановской области, которая требует бережного отношения, сохранения, дальнейшего творческого переосмысления и развития.

Работа кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой Ивановского государственного политехнического университета направлена на сохранение и разви-

тие основных идей интеграции современной творческой деятельности с традиционным направлением в искусстве оформления ивановского набивного текстиля [1, 21].

Орнаментика и способы художественного построения текстильного рисунка, свойственные ивановским тканям, неоднократно служили объектом изучения и творческого переосмысления в рамках работы над заданиями по некоторым преподаваемым дисциплинам кафедры, а также лежали в основе дипломных работ студентов. Некоторые работы отвечают колористической стилистике ивановских тканей, широкое распространение находит работа по художественной трансформации заимствованных из истории ивановского дизайна мотивов.

В рамках образовательной деятельности кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой проводятся мероприятия различного уровня, направленные на привлечение внимания на местном, национальном и международном уровнях к важности нематериального культурного наследия и его взаимного признания, с участием представителей регионального культурного сообщества и международных образовательных учреждений из промышленно развитых и развивающихся стран. Выполнено оформление заявки на внесение в Единый реестр объектов нематериального культурного наследия Ивановской области традиции оформления ивановского текстиля [1].

Преподаватели и студенты кафедры ведут активную творческую деятельность в разнообразных формах культурного самовыражения в области изобразительного искусства, декоративно-прикладного искусства и дизайна, а также деятельность по охране, популяризации и устойчивому использованию нематериального наследия во всех его формах [1, 20].

Знания в области сохранения нематериального наследия Ивановской области нашли отражение в печатных работах преподавателей и студентов кафедры. Так, материалы коллектива авторов по теме «Ивановский набивной текстиль: особенности исторического развития и художественного проектирования» вошли в состав «Энцик-

лопедии нематериального культурного наследия России», изданной Институтом наследия в 2022 году [9, 20]. Помимо этого, ведется активная работа по участию в научных и научно-практических конференциях с материалами, отражающими знания в области традиционных ремесел Ивановской области.

К числу предметов, хранящихся в фондах кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой Ивановского государственного политехнического университета и связанных с настоящим объектом нематериального культурного наследия, можно отнести образцы ивановского текстиля, вышивки и кружева, народные костюмы, найденные в результате организованных региональных экспедиций по изучению народного прикладного искусства, а также творческие работы преподавателей и студентов, отражающие художественные особенности традиционных ремесел Ивановской области (рис. 1 – модели одежды, автор Н.Г. Мизонова) [1, 20].



Рис. 1

Кафедра располагает уникальным музеем искусства и быта Ивановской области, экспонаты которого собраны студентами – участниками фольклорных экспедиций 1983–1994 годов, обширной базой методических и искусствоведческих литературных источников, фондом работ преподавателей и студентов кафедры, которые сегодня служат хорошей иллюстративной базой для творческой работы обучающихся [1, 20].

В настоящее время текстильный дизайн и традиционные направления в художественном оформлении тканей находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, художникам в своей работе необходимо грамотно сочетать актуальные для настоящего времени узоры с тематикой классического текстильного орнамента (рис. 2 и 3 – дипломные работы студентов кафедры ДКТ им. Н.Г. Мизоновой ИВГПУ, 2018, 2019).



Рис. 2



Рис. 3

Все поиски нового и опора на местные традиции должны заново осмысливаться и интегрироваться в новую эстетическую систему, в новую культурно-образовательную среду для художников, студентов и широкой массы потребителей. При использовании опыта прошлого важно помнить исторические особенности интересующего нас явления, понимать логику его стилистических изменений на каждом этапе развития и при этом стремиться к созданию новых образцов, отвечающих современным требованиям эстетики [1].

Искусствоведческая оценка богатого опыта ивановских художников представляет значительную ценность для практической деятельности современных мастеров. Этим обусловлена актуальность деятельности кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой ИВГПУ, направленной на изучение, творческое переосмысление и интеграцию знаний в области традиционного орнамента ивановских набивных тканей в образовательный процесс.

ВЫВОДЫ

1. Область сохранения традиций ивановской школы текстильного дизайна как объекта нематериального наследия Ивановской области актуальна в настоящее время, поэтому кафедра дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой ИВГПУ и в дальнейшем планирует развивать в образовательном процессе идеи интеграции современной творческой деятельности с традиционным направлением в искусстве оформления ивановского набивного текстиля.

2. Непрерывно развивающиеся технологии производства текстильной продукции, новые материалы, способы отделки тканей определяют необходимость развития текстильного орнамента и востребованность квалифицированных художников, обладающих знаниями исторических аспектов проектирования текстильного рисунка. Следовательно, знания в области технических и орнаментальных особенностей ивановского текстиля, богатый исторический материал, накопленный в ивановском регионе, обширная методическая и иллюстративная база фонда кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой, художественный и технологический опыт преподавателей имеют в настоящее время важное практическое значение для развития школы современного текстильного дизайна и системы подготовки специалистов в области художественного проектирования текстильных изделий.

1. Единый реестр объектов нематериального культурного наследия Ивановской области. – <http://ivcult.ru/sp-cult/nematerialnoe-kulturnoe-nasledie>

2. Савина Н.В. Принципы и методы художественного проектирования ивановского текстильного рисунка второй половины XX века // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2016. №2. С. 165...168.

3. Арсеньева Е.В. Ивановские ситцы: альбом. Л.: Художник РСФСР, 1983. 216 с.

4. Алпатова И.А. Узорные ткани. Русское декоративное искусство. М., 1965.

5. Малахова С.А., Журавлева Т.А., Козлова В.Н. и др. Художественное оформление текстильных изделий. М.: Легпромбытиздат, 1988. 304 с.

6. Соловьев В.Л., Болдырева М.Д. Ивановские ситцы. М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1987. 224 с.

7. Музей ивановского ситца. – <http://музейбурылина.рф/o-muzee/muzey-ivanovskogo-sittsa/>

8. Ермолаева М.И. Эволюция дизайна текстиля в ивановских ситцах // Дизайн. Материалы. Технология. 2009. №4(11). С. 143...148.

9. Энциклопедия нематериального культурного наследия России. Посвящается Году культурного наследия народов России. М.: Институт Наследия, 2022. 576 с.

10. Ясинская И.М. Советские ткани 1920–1930-х годов. Л.: Художник РСФСР, 1977. 278 с.

11. 100% Иваново. Агитационный текстиль 1920-х – 1930-х годов из собрания Ивановского государственного историко-краеведческого музея им. Д.Г. Бурлыгина: альбом. М.: Издательская программа «Интерроса», 2010. 476 с.

12. От ручной набойки до машинной печати. Коллекция тканей Музея ивановского ситца. – <http://textilemuseum.ru/ru/>

13. Мокров К.И. Художники текстильного края. Л.: Художник РСФСР, 1986. 168 с.

14. Мизонова Н.Г. Использование традиций национальной культуры в творчестве российских художников-модельеров XX-го века: дис. ... канд. искусствоведения. М., 2013. 143 с.

15. Савина Н.В., Курникова Е.А. Особенности художественного проектирования тематических узоров ивановских набивных тканей второй половины XX века // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2022): сб-к материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Иваново: ИВГПУ, 2022. С. 773...774.

16. Соловьев В.Л. Ивановские ситцы: дис. ... канд. искусствоведения. М., 1990. 247 с.

17. Савина Н.В. Трансформация орнаментальных традиций ивановского текстильного рисунка в период 1950–1980-х годов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №2. С. 198...202.

18. Савина Н.В. Тематический рисунок ивановского набивного текстиля второй половины XX века // Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии: материалы 25-й международной научной конференции. СПб.: СПГУПТД, 2022. С. 321...324.

19. Щербакова А.В. Принципы и методы художественного проектирования печатного текстильного рисунка 50-60-х годов XX века. Зарубежный и отечественный опыт: дис. ... канд. искусствоведения. М., 2013. 170 с.

20. Ивановский государственный политехнический университет. – <https://ivgpu.ru/ob-universitete/instituty/itim/kafedry-itim/ktd>

REFERENCES

1. Unified register of objects of intangible cultural heritage of the Ivanovo region. Electronic resource. Access mode: <http://ivcult.ru/sp-cult/nematerialnoe-kulturnoe-nasledie>

2. Savina N.V. Principles and methods of artistic design of Ivanovo textile designs of the second half of the twentieth century // Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. Questions of theory and practice. Tambov: Gramota, 2016. No. 2. P. 165...168.

3. Arsenyeva E.V. Ivanovo calico: album. L.: Artist of the RSFSR, 1983. 216 p.

4. Alpatova I.A. Patterned fabrics. Russian decorative art. M., 1965.

5. Malakhova S.A., Zhuravleva T.A., Kozlova V.N. and others. Decoration of textile products. M.: Legprombytizdat, 1988. 304 p.

6. Solovyov V.L., Boldyreva M.D. Ivanovo chintz. M.: Light industry and consumer services, 1987. 224 p.

7. Museum of Ivanovo chintz. – <http://muzey-burylina.rf/o-muzee/muzey-ivanovskogo-sittsa/>

8. Ermolaeva M.I. The evolution of textile design in Ivanovo chintz // Design. Materials. Technology. 2009. No. 4(11). P. 143...148.

9. Encyclopedia of intangible cultural heritage of Russia. Dedicated to the Year of Cultural Heritage of the Peoples of Russia. M.: Heritage Institute, 2022. 576 p.

10. Yasinskaya I.M. Soviet fabrics of the 1920–1930s. L.: Artist of the RSFSR, 1977. 278 p.

11. 100% Ivanovo. Propaganda textiles of the 1920s – 1930s from the collection of the Ivanovo State Museum of History and Local Lore. D.G. Burylina: album. M.: Publishing program “Interrosa”, 2010. 476 p.

12. From hand-printed to machine printing. Collection of fabrics from the Ivanovo Calico Museum. – <http://textilemuseum.ru/ru/>

13. Mokrov K.I. Artists of the textile region. L.: Artist of the RSFSR, 1986. 168 p.

14. Mizonova N.G. Using the traditions of national culture in the work of Russian fashion designers of the 20th century: dis. ... cand. art history. M., 2013. 143 p.

15. Savina N.V., Kurnikova E.A. Features of artistic design of thematic patterns of Ivanovo printed fabrics of the second half of the twentieth century // Young scientists – the development of textile and light industry (POISK – 2022): a collection of materials from the interuniversity scientific and technical conference of graduate students and students. Ivanovo: IVGPU, 2022. P. 773...774.

16. Soloviev V.L. Ivanovo calico: dis. ...cand. art history. M., 1990. 247 p.

17. Savina N.V. Transformation of Ivanovo textile pattern ornamental traditions in the period of 1950–1980 years // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. No. 2. P. 198...202.

18. Savina N.V. Thematic drawing of Ivanovo printed textiles of the second half of the twentieth century // Fashion and design: historical experience – new technologies: materials of the 25th international scientific conference. St. Petersburg: SPGUPTD, 2022. P. 321...324.

19. Shcherbakova A.V. Principles and methods of artistic design of printed textile designs of the 50-60s of the twentieth century. Foreign and domestic experience: dis. ... cand. art history. M., 2013. 170 p.

20. Ivanovo State Polytechnic University. – <https://ivgpu.ru/ob-universitete/instituty/itim/kafedry-itim/ktd>

Рекомендована кафедрой дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой ИВГПУ. Поступила 02.11.23.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PROMISING AREAS FOR PROCESSING TECHNOLOGICAL WASTE OF THE TEXTILE INDUSTRY

Ю.А. ЩЕПОЧКИНА

YU.A. SHCHEROSHKINA

(Ивановский государственный политехнический университет,
Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University,
Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology)

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

В настоящей статье сделана попытка обобщить отечественный и зарубежный опыт переработки разнообразных по составу и свойствам технологических отходов текстильной промышленности. Представлен обзор научных разработок, касающихся использования текстильных отходов при восстановлении полимерного сырья, в производстве строительных материалов и изделий, материалов для автомобильной и мебельной промышленности, при выработке технических войлоков и фетров, геотекстильных материалов, шнуров и канатов, тары, бумаги и картона, бытовых товаров, активного углерода, материалов для фильтрования сточных вод и др. Показана возможность рациональной переработки натуральных и синтетических текстильных отходов, в том числе лоскута, тряпья, обрезков тканей, нетканых материалов, волокон, в промышленную продукцию. Отмечено, что выбор перспективных направлений переработки разнообразных текстильных технологических отходов с учетом их состава и свойств является одной из важнейших задач современности.

Широкое вовлечение в хозяйственный оборот отходов текстиля, увеличение производственных мощностей по их сбору и переработке позволит рационально использовать материальные ресурсы, сократить потери и неоправданные расходы. При этом комплексная переработка текстильных технологических отходов в промышленную продукцию в современном мире является необходимостью, направленной и на развитие наукоемких технологий, на основе которых возможна дальнейшая интенсификация производства, тем более в межотраслевом факторе, когда отходы текстиля являются сырьевым резервом для предприятий других отраслей промышленности.

In this article, an attempt to summarize the domestic and foreign experience in processing technological wastes of the textile industry that are diverse in composition and properties is made. An overview of scientific developments related to the use of textile waste in the recovery of polymer raw materials, in the production of building materials and products, materials for the automotive and furniture industries, the production of technical felts and felt, geotextile materials, cords and ropes, containers, paper and cardboard, household goods, active carbon, waste water filtration materials and others is presented. The possibility of rational processing of natural and synthetic textile waste, including scraps, rags, fabric scraps, nonwovens,

fibers into industrial products is shown. It is noted that the choice of promising areas for processing a variety of textile technological waste, taking into account their composition and properties, is one of the most important tasks of our time.

The widespread involvement of textile waste in economic turnover, an increase in production capacities for their collection and processing will make it possible to rationally use material resources, reduce losses and unjustified costs. At the same time, the complex processing of textile technological waste into industrial products in the modern world is a necessity aimed at the development of high-tech technologies, on the basis of which further intensification of production is possible, especially in the intersectoral factor, when textile waste is a raw material reserve for enterprises of other industries.

Ключевые слова: текстильные технологические отходы, направление, переработка, вторичное сырье, производство, продукция, промышленность.

Keywords: textile technological waste, direction, processing, secondary raw materials, production, products, industry

Текстильные технологические отходы, в том числе невозвратные, возникают практически на всех этапах производства: при первичной переработке натуральных волокон, выработке текстильных и трикотажных изделий, химических волокон и нитей [1]. Образующиеся отходы (хлопковые, шерстяные, лубяные, шелковой промышленности, химических волокон, смешанные, а также с не текстильными включениями) представляют собой огромные сырьевые резервы для переработки в промышленную продукцию. Заметим, что в настоящее время в мире перерабатывается всего лишь 12-15 % текстильных отходов [2]. Очевидно, что выбор рациональных направлений комплексной переработки разнообразных текстильных технологических отходов с учетом их состава и свойств является одной из важнейших задач современности.

Безусловно, одним из приоритетных направлений переработки текстильных отходов является восстановление из них полимерного сырья. Для этого не рассортированные текстильные отходы полиамидных, полиэфирных и целлюлозных волокон обрабатывают органическими растворителями. При экстрагировании сохраняется макромолекулярная структура полимеров. Отходы нарезают, отделяют от них твердые частицы, затем при нагреве растворяют в соответствующих растворителях (для поли-

амида – метанол, для полиолефинов, поливинилхлорида, ацетилцеллюлозы – дихлорметан), отделяют полимеры от растворителя, сушат, прессуют, гранулируют. Полученное сырье используют для прессования изделий под давлением, получения модифицированного полиэфира, полимерных покрытий. Выделение синтетических полимеров из текстильных отходов считается экономически целесообразным при содержании в них вышеуказанных волокон в количестве не менее 30 % [1]. Заметим, что источником полиамида являются накапливающиеся в больших количествах такие текстильные отходы, как трикотажные, чулочно-носочные изделия, подворотничковая ткань, нетканые материалы [3]. Получение волокон возможно из растворов полиакрилонитрила и его сополимеров (растворители – диметилацетамид, диметилформамид, диметилсульфоксид, пропиленкарбонат или их смеси) [4]. Известен также способ выделения полимера на основе полиакрилонитрила из 15-22 % раствора (растворитель – диметилсульфоксид) [5].

Еще одним перспективным направлением переработки больших количеств текстильных отходов можно считать производство строительных материалов. Подсчитано, что если использовать промышленные отходы в производстве строительных материалов, то можно сэкономить от 5 до 40 % материальных ресурсов [6]. Это в пол-

ной мере можно отнести и к отходам текстильной промышленности. В частности, для армирования строительных композитов на основе цемента, извести, гипса находят широкое применение отходы натуральных и синтетических волокон. Так, цементные композиты армируют волокнами льна, хлопка, полиамида [7], стеклянными, асбестовыми и другими волокнами [8...11]. В качестве армирующего материала для теплоизоляционных изделий на основе цемента можно использовать хлопковые волокна, шерстяные очесы, льняные волокна [12], на основе извести – волокна льна, конопля [13], допустимо применение окшары и подзола [14]. Для упрочнения гипсовых изделий находят применение полимерные, базальтовые и стеклянные волокна. Введение стеклянных волокон обеспечивает увеличение прочности изделий из газогипса [15, 16]. Измельченные отходы стекловолокна могут быть использованы в производстве кирпича [17]. Отходы первичной переработки льна и шерсти можно использовать в производстве пористых заполнителей на основе глинистого сырья [18, 19]. Для армирования пластмасс также можно применять отходы стеклянного волокна и синтетических волокон. В качестве наполнителей для изделий из искусственных смол употребляют отходы хлопка [1]. Возможно получение конструкционных изделий из композиции, содержащей совместно разволокненные текстильные отходы (в качестве наполнителя) и полипропиленовую мешковину (в качестве связующего), с последующим формованием массы в изделия при нагреве до температуры 170-200 °С [20]. Путем нагрева льняной костры без доступа воздуха до выделения смолистых веществ с последующим прессованием под давлением полученной массы вырабатывают твердый материал, поддающийся обточке, сверлению и шлифованию. Измельченная в муку костра может служить наполнителем для пластмасс [21]. Для изготовления плит на синтетическом связующем подходят коротковолокнистые отходы текстильного производства в сочетании с отходами деревообработки [22]. Для получения биокомпозитных материалов предлагается

использовать конопляные волокна и костру в сочетании с кремнеземистой матрицей [23], для стеновых материалов – конопляные волокна в сочетании с известью [24]. В качестве тепло- и звукоизоляции находят применение костроплиты и костроволокнит, получаемые на основе выделяемой на льнозаводах костры [25]. В производстве строительных панелей возможно использование полипропиленовых пленок и отходов полипропиленовых нетканых материалов. Для армирования асфальтобетона рекомендуется использовать полиамидные (капроновые) нити, уменьшающие вероятность возникновения усталостных разрушений материала от воздействия подвижной нагрузки [26]. В производстве тепло- и звукоизоляционных материалов, покрытий для пешеходных дорожек находят применение отходы швейной промышленности, в частности, межлекальные выпадки [2]. Отходы швейного производства могут также служить сырьем для производства нетканых материалов [27]. При этом наиболее ценными для изготовления нетканых материалов считаются отходы с преобладанием синтетических волокон [28]. Подкладочные материалы для напольных покрытий из поливинилхлорида и искусственной кожи, материалы для автомобильной и мебельной промышленности изготавливают из текстильного вторичного сырья. При этом возможна переработка сырья низкого качества, в том числе отходов льняного и конопляного производства, восстановленных волокон шерстяного типа небольшой длины. Материалы из хлопковых волокон или отходов применяют в качестве основы при выработке так называемых пластических кож для изготовления папок, галантереи [29]. Холст, получаемый из низкокачественного волокна, текстильных отходов и вторичного сырья, может быть использован в изготовлении мягкой мебели. В частности, технология производства матов, применяемых в качестве наполнителей для мебели, предусматривает применение отходов свиной щетины, кокосового волокна, отходов сизаля и восстановленных полиамидных волокон [1]. На основе технологических отходов текстильной промышленности воз-

можно выработка технических войлоков и фетров (отходы шерстяного типа), геотекстильных материалов (отходы полиэфирных и полипропиленовых волокон). Для получения синтетических войлоков могут найти применение полиэфирные, полиакрилонитрильные, полиамидные волокна, а также их смеси с вискозными волокнами, отходами льнопенькоджутовых предприятий, восстановленной шерстью и грубым волосом. Восстановленную шерсть, выработанную из лоскута и швейных обрезков, используют в производстве утепленной обуви, ковровых изделий [28]. В производстве обуви, ватина, настилочного материала для мягкой мебели находят применение нетканые материалы, получаемые при переработке вторичного текстильного сырья [30].

Текстильные отходы могут служить сырьевым материалом для изготовления шнуров и канатов. При этом особенности структуры изделий определяются оплеткой, охватывающей сердечник плотными параллельными рядами. Для получения оплетки возможно использование полиамидного кабеля, полиамидных и полиэфирных нитей, а для сердечника пригодны различные виды отходов прядильных, трикотажных, ткацких фабрик, швейных и отделочных предприятий (чесальная лента, концы пряжи, лоскуты, остатки основы, кромки тканей, ленты из вторичного сырья и другое) [1].

Производство бумаги и картона является крупным потребителем текстильных отходов. Для приготовления тряпичной полумассы применяют старое тряпье (льняное, пеньковое, хлопчатобумажное), новые обрезки со швейных фабрик (льнопеньковые, хлопчатобумажные), старые льнопеньковые, веревочно-канатные, сетчатые изделия, короткое хлопковое волокно [30]. На производство бумаги, упаковки идет хемитермомеханическая целлюлоза, добываемая из соломы конопли без выделения костры [31]. Хлопчатобумажная полумасса идет на выработку фильтровальных бумаг. Низкие сорта хлопчатобумажного тряпья (ватник, тряпье-брак) в количестве до 75 % включают в смеси для бумаги-основы толстого картона. Для этой же цели используют

волокна шерсти, также поступающие в виде тряпья [32]. В производстве картона могут быть использованы даже сильнозагрязненные короткие восстановленные волокна различного происхождения. Находят также применение отходы переработки хлопка [29]. При этом хлопчатобумажные отходы затрудняют прокрашивание картона, но придают ему прочность и гибкость, а шерстяные – увеличивают гигроскопичность, снижают прочность материала (их доля не должна превышать 15 % от общей массы, а с примесями синтетических волокон – 3-5 %) [1]. Бумагу лучших сортов вырабатывают из соломки масличных льнов и костры. Из тряпья высокого качества, в основном льняного, состоит масса для выработки бумаги путем ручной вычерпки, а низкосортное хлопчатобумажное тряпье идет на выработку высококачественной бумаги более низких сортов. Стригальный пух, скатертная стрижка, подметь прядильного и ткацкого производства могут служить сырьем для выработки оберточной бумаги, картона [22]. Для производства кровельного картона используют низкосортные обрезки тканей. Синтетические волокна (лавсан, нитрон, капрон, виол, вискоза) употребляют в производстве бумаги в смеси с целлюлозными волокнами. Для получения специальных видов бумаги (денежной, картографической, фотографической, чертежной, электроизоляционной, фильтровальной) применяют смесь синтетических и натуральных волокон. Так называемую синтетическую бумагу получают из 100 % синтетических волокон. Она приближается по свойствам к ткани и может быть использована для изготовления мешков, одежды, салфеток, скатертей и др. При добавлении связующих веществ к синтетическим волокнам получают бумагоподобный материал – текстрин [32].

Уловленная фильтрами на текстильных предприятиях волокнистая хлопковая пыль может служить сырьем для изготовления листового материала, а также тары с ячейками для укладки яиц [25]. Такие материалы целесообразно рассматривать как заменители картона. Пух хлопковый, трубную

пыль, подметь, орешки после очистки можно использовать для выработки упаковочной набивки [21].

Резинотканевые вулканизированные отходы, образующиеся в производстве резинотехнических изделий (остатки от штамповки и отделки готовых изделий либо бракованные изделия), подлежат измельчению и употребляются при производстве бытовых товаров, надувных лодок. Резинотканевые невулканизированные отходы в виде остатков прорезиненных тканей (капрон, анид, терплен, хлопчатобумажные ткани, шелк) могут быть использованы для производства амортизационных досок, передников, рукавиц, бирок [17].

Возможна повторная переработка синтетического волокна из отходов, обладающих термопластичными свойствами и состоящих из следующих полимеров: полигексаметилендиамид, поликапроамид, полиэтилентерефталат, полипропилен. Такой переработке подлежат полимерные нити и кабель, остатки нитей, полученные во время прядения, при вытяжке, с нанесенными препаратами, отходы пленки. Цвет готового регранулята зависит от цвета отходов перед переработкой. Получаемый регранулят может быть применен в изготовлении высококачественных нитей и волокон (в смеси с оригинальным гранулятом), штапельных волокон, пластмасс, прессованных изделий, щеток, профилей [1]. Особо следует отметить перспективность переработки вторичного капрона, учитывая его способность к плавлению, формообразованию и обработке. Переработку отходов этого материала можно вести литьевым способом. Очищенный от посторонних предметов и загрязнений капрон промывают водой, сушат и подвергают плавлению при 250-270 °С. Расплавленную массу формируют под давлением в подогретых до 40-50 °С пресс-формах. В них изделия выдерживают до остывания, затем извлекают из пресс-форм и подвергают механической обработке. Возможна переработка капроновых отходов (рыболовные сети, старые капроновые изделия) в гранулы. Технологический процесс также предусматривает сортировку отходов, удаление примесей не

капронового происхождения, промывку загрязненных отходов и плавление при температуре 260-270 °С. Полученный расплав капрона продавливают через фильтры в охлаждающую ванну, где он застывает с образованием ленты. Ленту измельчают в крошку, которую фасуют для отправки потребителю. При литьевой переработке вторичного капрона в изделия полезный выход продукта достигает 90-93 % [21].

Из отходов пенькового волокна, смеси отходов льняных, джутовых, кенафных волокон вырабатывают паклю. Паклю, вату, обтирочные материалы получают из вторичного текстильного сырья [33, 34]. Хлопчатобумажную подметь используют для выработки одежной, тюфячной, мебельной ваты. Для изготовления обтирочной ваты перерабатывают рвань ткацкую. Из отходов шерстяной ткани вырабатывают коврики, из отходов хлопчатобумажной – формируют полировальные круги, выполняют крой для игрушек, заготовки для обтяжки пуговиц [21].

Пропыленные низкосортные отходы хлопко-, льно- и шерстопрядильных фабрик могут быть востребованы в сельском хозяйстве. Так, добавки пыли и мелких волокон улучшают структуру глинистых и заболоченных почв [25, 35].

С применением коротковолокнистых текстильных отходов и природного полисахарида арабиногалактана (продукт экстракции отходов древесины лиственницы) возможно получение биоразлагаемого композиционного материала для производства изделий с коротким сроком эксплуатации, в частности, упаковочных материалов [36].

Хлопчатобумажную пыль (мелкую после барабанного фильтра), а также льняную костру после брикетирования применяют как топливо [37...39].

Льняная, конопляная, кенафная костра (при обработке соляной кислотой) является сырьем для синтеза фурфурола, выход этого продукта соответственно 7 %, 7,5 % и 4,5 %. Конопляная костра может быть использована для производства кормовых дрожжей (на 1 т дрожжей затрачивается 10 т костры) [40].

Немаловажно, что на основе текстильных отходов посредством пиролиза можно получать углерод [1, 41, 42]. При этом в отходах на основе натуральных волокон (льняные, хлопчатобумажные и др.) учитывают содержание целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина. Перед переработкой отходы сушат, пиролиз осуществляют при температуре 500°C, что обеспечивает максимальный выход сухого остатка. В результате переработки резиноканевых отходов и синтетических тканей получают углерод с примесями, жидкое топливо, горючие газы [41, 43].

Отходы в виде обугленных остатков с частичками шерсти, образующиеся при карбонизации текстильных материалов, пригодны к использованию при фильтрации для очистки сточных вод красильно-аппретурного производства [1]. Как известно, сточные воды предприятий текстильной промышленности содержат значительные количества органических и минеральных примесей, красителей, синтетические поверхностно-активные вещества, шлихтующие и другие препараты [44]. Для сорбционной очистки промышленных сточных вод также находят применение отходы синтетических волокон и нетканых материалов. Отходы лавсана, нитрона, капрона обладают сорбционной способностью к нефтепродуктам [45].

Отметим, что рациональная переработка текстильных технологических отходов оказывает непосредственное влияние на интенсивность развития различных отраслей промышленности, требует нового подхода к экономии сырья, экологическим проблемам [13, 34, 46]. Широкое вовлечение в хозяйственный оборот отходов текстиля, увеличение производственных мощностей по их сбору и переработке позволит рационально использовать материальные ресурсы, сократить потери и неоправданные расходы. При этом комплексная переработка текстильных технологических отходов в промышленную продукцию в современном мире является необходимостью, направленной и на развитие наукоемких технологий, на основе которых возможна дальнейшая интенсификация производства, тем более в межотраслевом факторе, когда

отходы текстиля являются сырьевым резервом для предприятий других отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петканова Н.Н., Урумова Д.Г., Чернев В.П. Переработка текстильных отходов и вторичного сырья: пер. с болг. / под ред. А.М. Чельшева. М.: Легпромбытгиздат, 1991. 240 с.
2. Каюмова Р.Ф., Невольни Ю.М. Пути использования текстильных отходов на примере межлекальных выпадов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1. С. 108...113.
3. Суворова А.И., Тюкова И.С. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов. Екатеринбург: Урал. гос.ун-т, 2008. 126 с.
4. Пат. 2265679 РФ. Способ получения волокна.
5. Пат. 2549075 РФ. Способ выделения полимера из раствора при формировании ПАН-прекурсора для получения углеродных волокон.
6. Mačiulaitis R., Žurauskienė R. Mažo poringumo statybini keramika iš vietinių ir technogeninių žaliavų. Vilnius: Technika, 2007. 220 p.
7. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Экологическая безопасность использования текстильных волокон в промышленности строительных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 194...198.
8. Дисперсно-армированный бетон и изделия из него. Тематическая подборка. Рига: ЛатНИИНТИ, 1979. 44 с.
9. Щепочкина Ю.А. Цементный композит с волокнами лавсана // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб-к матер. XXIV Междунар. науч.-практ. форума "SMARTEX-2021". Иваново: ИВГПУ, 2021. С. 158...160.
10. Egem Teomete, Ozgun Ylkin Kocyigit Zależność pomiędzy oporem elektrycznym i odkształceniem przy ściskaniu kompozytów cementowych zbrojonych włóknami stalowymi // Cement. Wapno. Beton. 2015. No 4. S. 244...252.
11. Kasagani H., Rao C.B.K. Wpływ dodatku szklanych włókien o jednakowej długości i mieszanych na właściwości betonu // Cement. Wapno. Beton. 2016. No 5. S. 361...372.
12. Fic S., Brzyski P. Badanie kompozytu opartego na lekkich wypełniaczach (len i perlit) do zastosowań w budownictwie jako materiał ścienny // Przegląd budowlany. 2015. No 2. S. 30...35.
13. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Румянцев Е.В., Одицова О.И., Касьяненко Н.С. Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6. С. 21...29.

14. Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Румянцева В.Е., Коновалова В.С. Вторичные материальные ресурсы для строительной индустрии. Иваново: ИВГПУ, 2017. 188 с.
15. Гордашевский П.Ф., Перов П.В., Шингин С.И., Карначева О.В. Армирование гипсовых и гипсоцементно-пуццолановых изделий стекловолокном // Строительные материалы. 1977. № 3. С. 24...25.
16. Ильина Л.В., Завадская Л.В. Газогипсовые изделия, армированные стекловолокном // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 5. С. 52...54.
17. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат, 1990. 352 с.
18. Щепочкина Ю.А. Утилизация отходов первичной переработки льна и шерсти // Охрана труда и окружающей среды на предприятиях текстильной и легкой промышленности: межвуз. сб. науч. тр. Иваново, 1998. С. 104...105.
19. А.с. 628129 СССР. Сырьевая смесь для производства керамзита.
20. Ставров В.П., Колос А.А., Стиглазов А.В., Карпович О.И., Наркевич А.Л., Калинин А.Н. Технологическая схема и средства переработки текстильных отходов в изделия конструкционного назначения // Химия, технология органических веществ и биотехнология. Тр. БГТУ. Серия IV. Минск, 2009. С. 127...129.
21. Никитин Г.М., Пантелькин А.А., Тряпичин М.З. Отходы производства легкой промышленности. М.: Легкая индустрия, 1973. 256 с.
22. Грошев И.М., Соколова Е.М., Зимина Е.Л. Товароведная экспертиза и классификация отходов легкой и деревообрабатывающей промышленности и направления их использования в Республике Беларусь // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. Витебск, 2015. С. 337...339.
23. Парсанов А.С., Антонова М.В., Красина И.В. Применение конопли в производстве композитных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6. С. 292...297.
24. Brzyski P. Właściwości termoizolacyjne materiału ściennego opartego na wapień i paździerzach kopornych // Izolacja. 2019. No 2. S. 46...50.
25. Щепочкин А.М. Текстильная пыль в технологии хлопка, льна, шерсти. Иваново: ИГТА, 2004. 168 с.
26. Лукашевич В.Н., Агафонова М.В. Исследование влияния процессов старения асфальтобетонов на свойства дисперсной арматуры из полиамидных нитей // Актуальные проблемы строительного материаловедения: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Томск, 1998. С. 112...113.
27. Азанова А.А., Сухова А.А. Нетканый материал на основе текстильных отходов // Технологии и качество. 2023. № 1. С. 33...39.
28. Фролова И.В., Фролов В.Д., Макаров В.В. Малоотходная технология в производстве нетканых материалов. Иваново: ИГТА, 1997. 310 с.
29. Фролова И.В., Фролов В.Д., Сапрыкин Д.Н. и др. Малоотходная технология в производстве нетканых материалов. Ч. 2. Иваново, 1998. 400 с.
30. Шингисбаева Ж.А., Абдуова А.А., Изтлеуов Г.М. и др. Особенности переработки отходов хлопчатобумажного комбината // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1. С. 319...322.
31. Лаврентьева Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3. С. 130...139.
32. Шитов Ф.А. Технология бумаги и картона. М.: Высшая школа, 1973. 432 с.
33. Вторичные материальные ресурсы номенклатуры Госнаба СССР: образование и использование: справочник. М.: Экономика, 1987. 244 с.
34. Голов Р.С., Костыгова Л.А., Смирнов В.Г. Использование текстильных отходов: анализ состояния и перспективы развития // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5. С. 241...250.
35. Полякова Д.А., Алленова А.П., Ганеман Е.К., Асриян К.С., Смирнова М.М. Отходы хлопчатобумажной промышленности: справочник. М.: Легпромбытиздат, 1990. 208 с.
36. Сафин Р.Г., Сафина А.В., Валеев К.В., Фахрутдинов Р.Р. Способ получения композиционного материала на основе отходов текстильной промышленности и арабиногалактана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6. С. 297...302.
37. Щепочкин А.М. О повышении качества аспирационных устройств текстильных машин // Оздоровление воздушной среды на предприятиях: тематич. сб. науч. тр. Свердловск, 1974. С. 58...60.
38. Stüble H. Entstaubung, filterierrung und automatische abgangentsorgung im spinnenreivorwerk // Textil Praxis. 1985. Bd. 40 No. 5. S. 479...484.
39. Баишков А.П., Маринич В.Я. Предложения по сбору и утилизации невозвратных отходов прядильного производства // Безопасность жизнедеятельности и экология текстильных предприятий: юбил. сб. науч. тр. Иваново, 2001. С. 14...18.
40. Вторичные материальные ресурсы в легкой промышленности (образование и использование): справочник. М.: Экономика, 1983. 664 с.
41. Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиятдинова Д.Ф. Пирогенетическая переработка органических отходов текстильной промышленности в адсорбенты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5. С. 229...235.
42. Демесинова А.А., Айдарова А.Б., Молдогазиева Г.М., Досмуратова Э.Е. Энергия из отходов текстильного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1. С. 71...75.
43. Пат. 2731633 РФ. Способ получения активированного угля.
44. Абдуова А.А., Изтлеуов Г.М., Дайрабаева А.Ж. и др. Методы очистки сточных вод тек-

стильной промышленности от органических соединений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5. С. 107...111.

45. *Гринин А.С., Новиков В.Н.* Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. 336 с.

46. *Щепочкина Ю.А.* Возможности применения текстильных отходов в производстве строительных материалов и изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5. С. 184...191.

REFERENCES

1. *Petkanova N.N., Urumova D.G., Chernev V.P.* Processing of textile waste and secondary raw materials: trans. from bolg. / edited by A.M. Chelyshev. M.: Legprombytizdat, 1991. 240 p.

2. *Kayumova R.F., Nevolani Yu.M.* Ways of using textile waste on the example of the remnants of the fabric between patterns // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. No. 1. P. 108...113.

3. *Suvorova A.I., Tyukova I.S.* Recycling of polymers and creation of environmentally friendly polymer materials. Yekaterinburg: Ural State University, 2008. 126 p.

4. Pat. 2265679 Russian Federation. Method of fiber production.

5. Pat. 2549075 Russian Federation. A method for separating a polymer from a solution during the formation of a precursor PAN for the production of carbon fibers.

6. *Mačiulaitis R., Žurauskienė R.* Mažo poringumo statybini keramika iš vietinių ir technogeninių žaliavų. Vilnius: Technika, 2007. 220 p.

7. *Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V., Kobleva S.A.* Environmental safety of the use of the textile wastes in the construction materials industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2017. No. 1. P. 194...198.

8. Dispersed reinforced concrete and products from it. Thematic selection. Riga: LatNIINTI, 1979. 44 p.

9. *Shchepochkina Yu.A.* Cement composite with lavsan fibers // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials*. XXIV International Scientific and Practical. Forum "SMARTEX-2021". Ivanovo: IVGPU, 2021. P. 158...160.

10. *Egem Teomete, Ozgun Ylким Kocuyigit.* Zależność pomiędzy oporem elektrycznym i odkształceniem przy ścisłaniu kompozytów cementowych zbrojonych włóknami stalowymi // *Cement. Wapno. Beton*. 2015. No 4. S. 244...252.

11. *Kasagani H., Rao C.B.K.* Wpływ dodatku szklanych włókien o jednakowej długości i mieszanych na właściwości betonu // *Cement. Wapno. Beton*. 2016. No 5. S. 361...372.

12. *Fic S., Brzyski P.* Badanie kompozytu opartego na lekkich wypełniaczach (len i perlit) do zastosowań w budownictwie jako materiał ścienny // *Przegląd budowlany*. 2015. No 2. S. 30...35.

13. *Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Kasyanenko N.S.* The use of textile industry waste in the production of building composites // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 6. P. 21...29.

14. *Fedosov S.V., Shchepochkina Yu.A., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S.* Secondary material resources for the construction industry. Ivanovo: IVGPU, 2017. 188 p.

15. *Gordashevsky P.F., Perov P.V., Shingin S.I., Karnacheva O.V.* Reinforcement of gypsum and gypsum cement products with fiberglass // *Construction materials*. 1977. No. 3. P. 24...25.

16. *Ilyina L.V., Zavadskaya L.V.* Gas gypsum products reinforced with glass fiber // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2011. No. 5. P. 52...54.

17. *Palgunov P.P., Sumarokov M.V.* Utilization of industrial waste. M.: Stroyizdat, 1990. 352 p.

18. *Shchepochkina Yu.A.* Utilization of waste from primary processing of flax and wool // *Labor and environmental protection at textile and light industry enterprises: mezhvuz. sb. scientific tr.* Ivanovo, 1998. P. 104...105.

19. A.s. 628129 USSR. Raw mixture for the production of expanded clay.

20. *Stavrov V.P., Kolos A.A., Spiglazov A.V., Karpovich O.I., Narkevich A.L., Kalinka A.N.* Technological scheme and means of processing textile waste into structural products // *Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. The works of BSTU. Series IV*. Minsk, 2009. P. 127...129.

21. *Nikitin G.M., Pantelkin A.A., Tryapitsin M.Z.* Waste products of light industry. M.: Light industry, 1973. 256 p.

22. *Groshev I.M., Sokolova E.M., Zimina E.L.* Commodity expertise and classification of waste from light and woodworking industry and directions of their use in the Republic of Belarus // *New in engineering and technology in textile and light industry. Checkmate. International Scientific and Technical conf.* Vitebsk, 2015. P. 337...339.

23. *Parsanov A.S., Antonova M.V., Krasina I.V.* The use of hemp in the production of composite materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 6. P. 292...297.

24. *Brzyski P.* Właściwości termoizolacyjne materiału ściennego opartego na wapień i paździerzach konopnych // *Jzolacja*. 2019. No 2. S. 46...50.

25. *Shchepochkin A.M.* Textile dust in the technology of cotton, linen, wool. Ivanovo: IGTA, 2004. 168 p.

26. *Lukashevich V.N., Agafonova M.V.* Investigation of the effect of asphalt concrete aging processes on the properties of dispersed reinforcement made of polyamide filaments // *Actual problems of building materials science. Mat. All-Russian scientific and technical conf.* Tomsk, 1998. P. 112...113.

27. *Azanova A.A., Sukhova A.A.* Nonwoven fabric based on textile waste // *Technologies and quality*. 2023. No. 1. P. 33...39.

28. Frolova I.V., Frolov V.D., Makarov V.V. Low-waste technology in the production of nonwovens. – Ivanovo: IGTA, 1997. 310 p.
29. Frolova I.V., Frolov V.D., Saprykin D.N. etc. Low-waste technology in the production of nonwovens. Part 2. Ivanovo, 1998. 400 p.
30. Shingisbayeva J.A., Abduova A.A., Iztleulov G.M. etc. Features of processing of waste of cotton plant // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 1. P. 319...322.
31. Lavrentieva E.P., Sanina O.K., Belousov R.O. The deep processing of bast fibers as the way to the revival of the national traditions of Russia // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 3. P. 130...139.
32. Shitov F.A. Technology of paper and cardboard. M.: Higher School, 1973. 432 p.
33. Secondary material resources of the nomenclature of the USSR State Staff: education and use: Handbook. M.: Economics, 1987. 244 p.
34. Golov R.S., Kostygova L.A., Smirnov V.G. The use of textile waste: analysis of the state and development prospects // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 5. P. 241...250.
35. Polyakova D.A., Allenova A.P., Hahne-mann E.K., Asriyan K.S., Smirnova M.M. Waste from the cotton industry: A reference book. M.: Legprombitizdat, 1990. 208 p.
36. Safin R.G., Safina A.V., Valeev K.V., Fakhrutdinov R.R. Method for obtaining composite material based on waste of the textile industry and arabinogalactan // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 6. P. 297...302.
37. Shchepochkin A.M. On improving the quality of aspiration devices of textile machines // *Improvement of the air environment at enterprises. Thematic collection of scientific tr. Sverdlovsk*, 1974. P. 58...60.
38. Stüble H. Entstaubung, filterierrung und automatische abgangentsorgung im spinnenreivorwerk // *Textil Praxis*. 1985. Bd. 40. No. 5. S. 479...484.
39. Bashkov A.P., Marinich V.Ya. Proposals for the collection and disposal of non-returnable waste from spinning production // *Life safety and ecology of textile enterprises. Anniversary of the collection of scientific works*. Ivanovo, 2001. P. 14...18.
40. Secondary material resources in light industry (Education and use): Handbook. M.: Economics, 1983. 664 p.
41. Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Textile industry organic waste pyrogenetic processing into adsorbents // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 5. P. 229...235.
42. Demesinova A.A., Aidarova A.B., Moldogazieva G.M., Dosmuratova E.E. Energy from waste of testing production // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 1. P. 71...75.
43. Pat. 2731633 Russian Federation. A method for producing activated carbon.
44. Abduova A.A., Iztleulov G.M., Dairabayeva A.Zh. etc. Methods of wastewater treatment of textile industry from organic compounds // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. No. 5. P. 107...111.
45. Grinin A.S., Novikov V.N. Industrial and household waste: Storage, utilization, processing. M.: FAIR PRESS, 2002. 336 p.
46. Shchepochkina Yu.A. The possibilities of using textile waste in the production of building materials and products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. No. 5. P. 184...191.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 09.01.24.

СОДЕРЖАНИЕ

Обзорные статьи

<i>Гюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Таипулатов С.Ш.</i> Электронный текстиль: обзор основных направлений исследований	5
--	---

Экономика, управление и организация производства

<i>Кузьмин Д.И., Савельев И.И., Ашин А.А., Аннин А.Г.</i> Особенности управления логистическими рисками в текстильной промышленности	13
<i>Оборин М.С., Савельев И.И.</i> Современные достижения в текстильной промышленности	17
<i>Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Таипулатов С.Ш., Юзбашыева Г.З., Салимли С.Х., Зейналова М.С.</i> Развитие конкурентоспособности продукции легкой промышленности Азербайджана	24
<i>Шахова И.Ю., Сперанский С.Н., Онопюк Е.Ю., Лодойн У.</i> Формирование эффективной системы обеспечения экономической безопасности текстильного предприятия	32

Материаловедение

<i>Пашин Е.Л., Орлов А.В.</i> Обоснование метода комплексной оценки изгибной и сдвиговой жесткости лубяного волокна	39
<i>Каюмова Р.Ф., Девятьярова Н.Б.</i> Ткань из конопли: свойства и применение	46
<i>Беликова В.Д., Шустов Ю.С.</i> Сравнительный анализ показателей качества трикотажных полотен различного сырьевого состава для пошива бельевых изделий для сварщиков	50
<i>Марченко В.Г., Рыклин Д.Б.</i> Исследование влияния многократных стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды	54
<i>Панкевич Д.К.</i> Разработка критерия оценки способности материалов для водозащитной одежды обеспечивать температурный гомеостаз	61
<i>Ивашко Е.И., Буркин А.Н.</i> Сравнительный анализ водонепроницаемости защитных материалов для специальной одежды	70
<i>Гойс Т.О., Новосад Т.Н., Коробов Н.А., Гусев Б.Н.</i> Нормирование показателя пиллингуемости текстильных полотен с учетом цифровой обработки испытываемых проб	75
<i>Плеханова С.В.</i> Систематизация и выбор определяющих показателей качества медицинских эластичных компрессионных чулочно-носочных изделий из химических волокон и нитей	81

Технология текстильных изделий

<i>Муракаева Т.В., Николаева Е.В.</i> Технологические особенности выработки трикотажных привязанных полотен	88
<i>Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Сосновская А.И.</i> Исследование процесса влагопереноса в структуре многослойного текстильного материала при эксплуатационных условиях носки	94
<i>Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Юхин С.С.</i> Разработка структур технических тканей, используемых в составе композиционных материалов с повышенными антифрикционными свойствами	101

Химия и технология отделки и модификации

<i>Ленько К.А., Ясинская Н.Н., Рафиков А.С.</i> Влияние поверхностно-активных веществ на качественные показатели текстильных материалов из целлюлозных волокон после биоотварки	109
<i>Хуснутдинова Г.Н., Азанова А.А.</i> Охлаждающая отделка текстильных материалов с использованием ксилита и эритрита	116

<i>Циркина О.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А., Спиридонова В.Г., Кузьмина Н.Н.</i> Разработка огнезащитных композиций для обивочных мебельных тканей	122
---	-----

Швейное производство

<i>Гогузев Д.Н., Петросова И.А., Андреева Е.Г.</i> Методика количественного сравнения виртуальной модели одежды с реальным образцом	131
<i>Солодушенкова Т.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А., Радченко О.В., Зобнина Е.В.</i> Влияние последовательности операций стачивания деталей и биообработки полуфабрикатов на жесткость льняной одежды	138
<i>Будеева О.Н., Григорьева З.Р., Хамматова Э.А., Рахматуллин А.М.</i> Антропометрическая характеристика молодежной группы населения Республики Башкортостан	145

Автоматизация и информационные технологии

<i>Нуриев М.Н.</i> Выбор параметров изображения для автоматизированного определения показателей скрученности самокрученной пряжи	151
--	-----

Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

<i>Румянцева В.Е., Панченко Д.А., Панченко Ю.Ф., Нармания Б.Е.</i> Защита ограждающих конструкций предприятий текстильной промышленности от микробиологической коррозии материалами на основе гидроксида кальция	158
<i>Гринченко Б.Б., Шипилов Р.М., Баканов М.О., Румянцева В.Е., Захаров Д.Ю.</i> Прогнозирование параметров работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности	164
<i>Иващенко Н.С.</i> Моделирование оценки экологического потенциала как инструмента управления устойчивым развитием организации	173
<i>Новикова У.А., Строкин К.Б., Красильникова И.А.</i> Исследование деструкции торкрет-бетона как защитного покрытия конструкций строительных объектов текстильной отрасли	180

Техническая эстетика и дизайн

<i>Торебаев Б.П., Кадыров А.Р., Айнабеков А.Т., Нысанбаев Б.С., Мейрманов М.С.</i> Заимствование орнаментальных элементов в художественном оформлении текстильных изделий	187
<i>Савина Н.В.</i> Художественные особенности сюжетного орнамента ивановского набивного текстиля второй половины XX века	199
<i>Гаджибекова И.А.</i> Характеристика и классификация нательной одежды женщин Дагестана	204

Механика нити и полотен

<i>Гречухин А.П., Куликов А.В., Старинец И.В., Ершов В.Н., Рудовский П.Н.</i> Численная модель удара высокоскоростного объекта о тканую преграду из арамидных нитей	211
---	-----

Композиты на волокнистой основе

<i>Калмыков Д.О., Широких С.А., Молчанов С.П., Анохина Т.С., Баженов С.Д.</i> Устойчивость композиционных мембран для их применения в процессе деоксигенации абсорбентов CO ₂ с использованием мембранных контакторов газ-жидкость	218
<i>Пирогов Д.А., Мирошниченко Д.А., Маслов Л.Б., Карева Т.Ю., Долунц Г.В.</i> Разработка структуры многослойной ткани и экспериментальное исследование упругих свойств композиционного материала на ее основе при разных технологиях его производства	224
<i>Кудрявцева Д.А., Комлев А.Е., Алтынников А.Г., Платонов Р.А.</i> Моделирование электрофизических свойств композитного материала на основе ПТФЭ с различным процентным содержанием диоксида титана	232

Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

<i>Савина Н.В., Сурикова О.В.</i> Традиции ивановского текстиля как объект изучения и переосмысления в проектной деятельности кафедры дизайна костюма и текстиля им. Н.Г. Мизоновой ИВГПИУ	237
<i>Щепочкина Ю.А.</i> Перспективные направления переработки технологических отходов текстильной промышленности	243

CONTENTS

Review articles

<i>Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Tashpulatov S.Sh.</i> Electronic Textiles: a Review of Main Research Areas	5
---	---

Economics and Production Planning

<i>Kuzmin D.I., Savelev I.I., Ashin A.A., Annin A.G.</i> Management Features of Logistics Risks in Textile Industry	13
<i>Oborin M.S., Savelev I.I.</i> Modern Achievements in Textile Industry.....	17
<i>Mamedova H.F., Mamedov F.A., Tashpulatov S.Sh., Yuzbashyeva G.Z., Salimli S.Kh., Zeynalov M.S.</i> Development of Competitiveness of Light Industry Products of Azerbaijan.....	24
<i>Shakhova I.Y., Speransky S.N., Onopyuk E.Y., Lodoiu U.</i> Formation of an Effective System for Ensuring the Economic Security of the Textile Industry Enterprise.....	32

Materials

<i>Pashin E.L., Orlov A.V.</i> Justification of the Complex Assessment Method of Bending and Shearing Stiffness of Bast Fiber	38
<i>Kayumova R.F., Devytyarova Y.M.</i> Hemp Fabric: Properties and Application	46
<i>Belikova V.D., Shustov Yu.S.</i> Comparative Analysis of Quality Indicators of Knitted Fabrics of Different Raw Material Compositions for Sewing Linen Products for Welders	50
<i>Marchenko V.G., Ryklin D.B.</i> Research of Repeated Washing Influence on the Antistatic Properties of Fabrics for Workwear	54
<i>Pankevich D.K.</i> Development of Criteria for Assessing the Ability of Materials for Waterproof Clothing to Ensure Temperature Homeostasis	61
<i>Ivashko E.I., Burkin A.N.</i> Comparative Analysis of Waterproof Resistance of Protective Materials for Special Clothing	70
<i>Gois T.O., Novosad T.N., Korobov N.A., Gusev B.N.</i> Rationing of Textile Fabrics Pilling Ability Index With Digital Processing Included Test Samples	75
<i>Plekhanova S.V.</i> Systematization and Selection of Defining Quality Indicators of Medical Elastic Compression Hosiery Made of Chemical Fibers and Threads	81

Technology of Textile Products

<i>Murakaeva T.V., Nikolaeva E.V.</i> Technological Features of Knitted Tied Fabrics Producing	88
<i>Skobova N.V., Yasinskaya N.N., Sosnovskaya A.I.</i> Study of the Process of Moisture Transfer in the Structure of Multilayer Textile Material under Operating Conditions wear	94
<i>Safonov P.E., Levakova N.M., Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Yukhin S.S.</i> Development of Structures of Technical Fabrics Used in Composite Materials with Increased Antifriction Properties	101

Chemistry and Technology of Finishing and Modification

<i>Lenko K.A., Yasinskaya N.N., Rafikov A.S.</i> Effect of Surfactants on Cellulose Fiber Textile Materials Quality Parameters after Bioscouring	109
<i>Khusnutdinova G.N., Azanova A.A.</i> Cooling Finishes for Textile Materials Using Xylitol and Erythritol ..	116
<i>Tsirkina O.G., Salikhova A.H., Syrbu S.A., Spiridonova V.G., Kuzmina N.N.</i> Development of Fire-Retardant Composition for Upholstery Furniture Fabrics	122

Sewing

<i>Goguzev D.N., Petrosova I.A., Andreeva E.G.</i> Quantitative Method for Comparing a Virtual Clothing Model with a Real Sample	131
<i>Solodushenkova T.S., Kornilova N.L., Koksharov S.A., Radchenko O.V., Zobnina E.V.</i> The Impact of the Sequence of Parts Stitching and Bio-Processing of Semi-Finished Products on the Stiffness of Linen Garment	138
<i>Budeeva O.N., Grigorieva Z.R., Hammatova E.A., Rakhmatullin A.M.</i> Anthropometric Characteristics of the Youth Population Group of the Republic of Bashkortostan	145

Automation and Information Technologies

<i>Nuriev M.N.</i> Selection of Image Parameters for Automated Determination of Twist Indicators of Self-Twisted Yarn	151
---	-----

Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering

<i>Rumyantseva V.E., Panchenko D.A., Panchenko Yu.F., Narmania B.E.</i> Protection of Textile Industry Enterprises Enclosure Structures from Microbiological Corrosion by Materials Based on Calcium Hydroxide	158
<i>Grinchenko B.B., Shipilov R.M., Bakanov M.O., Rumyantseva V.E., Zakharov D.Yu.</i> Prediction of Work Parameters of Fire Extinguishing Participants on the Example of Enterprises of Textile Industry	164
<i>Ivashchenko N.S.</i> Modeling the Assessment of Environmental Potential as a Tool for Managing the Sustainable Development of an Organization	173
<i>Novikova U.A., Strokin K.B., Krasilnikova I.A.</i> Investigation of the Shotcrete Destruction as a Protective Coating for Structures of Construction Facilities in the Textile Industry	180

Technical Aesthetics and Design

<i>Torebaev B.P., Kadirov A.R., Aynabekov A.T., Nisanbaev B.S., Meirmanov M.S.</i> Borrowing of Ornamental Elements in Artistic Design of Textile Products	187
<i>Savina N.V.</i> Artistic Features of Ivanovo Printed Textiles Plot Ornament of the Second Half of the Twentieth Century	199
<i>Gadzhibekova I.A.</i> Characteristics and Classification of Underwear Clothing of Dagestan Women.....	204

Mechanics of Threads and Fabrics

<i>Grechukhin A.P., Kulikov A.V., Starinets I.V., Ershov V.N., Rudovsky P.N.</i> Numerical Impact Model of a High-Speed Object on a Woven Barrier Made of Aramid Threads	211
--	-----

Fiber-based Composites

<i>Kalmykov D.O., Shirokih S.A., Molchanov S.P., Anokhina T.S., Bazhenov S.D.</i> Stability of Composite Membranes for their Application in the Deoxygenation Process of CO ₂ Solvents Using Gas-Liquid Membrane Contactors	218
<i>Pirogov D.A., Miroshnichenko D.A., Maslov L.B., Kareva T.Yu., Dolunts G.V.</i> Development of a Multi-layer Fabric Structure and Experimental Study of Elastic Properties of Composite Material Based on it with Different Production Technologies	224
<i>Kudryavtseva D.A., Komlev A.E., Altynnikov A.G., Platonov R.A.</i> Simulation of Electrophysical Properties of A Composite Material Based on Ptfе with Different Content of Titanium Dioxide	232

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

<i>Savina N.V., Surikova O.V.</i> Traditions of Ivanovo Textiles as an Object of Study and Reinterpretation in the Project Activities of the Department of Costume and Textile Design Named after N.G. Mizonova IVSPU.	237
<i>Shchepochkina Yu.A.</i> Promising Areas for Processing Technological Waste of the Textile Industry.....	243