Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В ДЕКАБРЕ 1957 ГОДА, ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

№ 4 (424)
2026

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

№ 4 (424) ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 2026

Р Е Д А К Ц И О Н Н А Я К О Л Л Е Г И Я

Главный редактор *Е.Н. НИКИФОРОВА (д.т.н., ректор)*
Заместители главного редактора *Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.)*
К.Э. РАЗУМЕЕВ (д.т.н., проф.)

Редакционная коллегия (Россия):
М.А. АЛИБЕКОВА (д. искусств., проф.), 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.В. КАРПОВ (к. культ., доц.), 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.), А.В. КОРНИЛОВА (д. искусств., проф.), В.Е. КУЗЬМИЧЕВ (д.т.н., проф.), Н.А. КУЛИДА (д.т.н., проф.), А.Г. МАКАРОВ (д.т.н., проф.), О.И. ОДИНЦОВА (д.т.н., проф.), Н.В. ПЕРЕБОРОВА (д.т.н., проф.), И.А. ПЕТРОСОВА (д.т.н., проф.), А.Б. ПЕТРУХИН (д.э.н., проф.), Т.В. ПОРТНОВА (д. искусств., проф.), Н.П. ПРОРОКОВА (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 C. DOMINIQUE (д.т.н., Франция), GERŠAK JELKA (д.т.н., Словения), UDVAL LODOI (д.т.н., Монголия), Т.К. АЛЛАМУРАТОВА (PhD, Узбекистан), Е.В. ВАНКЕВИЧ (д.э.н., Беларусь), А.А. КУЗНЕЦОВ (д.т.н., Беларусь), С.В. ЛОМОВ (д.т.н., Бельгия), Ф.А. МАМЕДОВ (д.э.н., Азербайджан), Д.Б. РЫКЛИН (д.т.н., Беларусь), С.Ш. ТАШПУЛАТОВ (д.т.н., Узбекистан), Н.Н. ЯСИНСКАЯ (д.т.н., Беларусь)

Р Е Д А К Ц И О Н Н Ы Й С О В Е Т

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.: 8(4932) 41-75-02
E-mail: ttp@ivgpu.ru
http://ttp.ivgpu.ru

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796.
Сдано в набор 07.09.2026. Подписано в печать 18.09.2026. Формат 60x84 ⅛.
Усл. печ. л. 45,1. Заказ № 9494. Тираж 400 экз.

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

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

© «Известия вузов. Технология текстильной промышленности», 2026

Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

TEXTILE INDUSTRY TECHNOLOGY

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

ESTABLISHED IN DECEMBER OF 1957, 6 ISSUES PER YEAR

№ 4 (424)
2026

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

№ 4 (424) Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti 2026

E D I T O R I A L B O A R D

Chief editor *E.N. NIKIFOROVA (d.en.s., rector)*
Deputy of chief editor *N.L. KORNILOVA (d.en.s., prof.)*
K.E. RAZUMEEV (d.en.s., prof.)

Editorial board (Russia):
M.A. ALIBEKOVA (d.arts, prof.) 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.V. KARPOV (k.cult., as.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.), A.V. KORNILOVA (d.arts, prof.), V.E. KUZMICHEV (d.en.s., prof.), N.A. KULIDA (d.en.s., prof.), A.G. MAKAROV (d.en.s., prof.), O.I. ODINTSOVA (d.en.s., prof.), N.V. PEREBOROVA (d.en.s., prof.), I.A. PETROSOVA (d.en.s., prof.), A.B. PETRUKHIN (d.ec.s., prof.), T.V. PORTNOVA (d.arts, prof.), N.P. PROROKOVA (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), UDVAL LODOI (d.en.s., Mongoliya), T.K. ALLAMURATOVA (PhD, Uzbekistan), E.V. VANKEVICH (d.ec.s., Belarus), A.A. KUZNETSOV (d.en.s., Belarus), S.V. LOMOV (d.en.s., Belgium), F.A. MAMEDOV (d.ec.s., Azerbaijan), 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 07.09.2026. Signed for printing on 18.09.2026. Format 60×84 ⅛.
45,1 conventional sheets. Order № 9494. 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

© Proceedings of higher education institutions. Textile Industry Technology, 2026

УДК 687.03
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_5

СОВРЕМЕННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КРАНИОКОРРЕКТОРОВ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ДЕФОРМАЦИЕЙ ЧЕРЕПА

MODERN FUNCTIONAL MATERIALS USED IN THE MANUFACTURING OF CRANIOCORRECTORS FOR CHILDREN WITH SKULL DEFORMATIONS

А.С. АБДУЛЛАЕВА, Н.В. ТИХОНОВА, Т.В. ЖУКОВСКАЯ

A.S. ABDULLAEVA, N.V. TIKHONOVA, T.V. ZHUKOVSKAYA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: butenkovaas@corp.knrtu.ru

В статье представлен систематизированный обзор материалов, применяемых при изготовлении краниокорректоров, основанный на анализе отечественных и зарубежных научных источников. Рассмотрена эволюция материалов от традиционных решений к современным полимерным, аддитивно изготавливаемым полиамидным конструкциям и композиционным системам. Выявлены основные недостатки сплошных полимерных оболочек, включая низкую воздухопроницаемость, недостаточную гигроскопичность, склонность к ползучести при длительной нагрузке, а также риск повреждения кожных покровов младенца. Особое внимание уделено эргономическим и биомеханическим аспектам функционирования краниокорректоров, поскольку эффективность лечения напрямую зависит от корректного распределения давления, обеспечения вентиляции и поддержания комфортного микроклимата при длительном ношении изделия. Обоснована целесообразность разработки гибридных конструкций краниокорректоров, сочетающих жесткие формообразующие элементы и текстильные основы. Подобные решения обеспечивают повышение адаптивности изделия, улучшение гигиенических характеристик и возможность индивидуализации процесса коррекции. Полученные результаты подтверждают перспективность данного направления и необходимость дальнейших исследований в области разработки гибридных конструкций краниокорректоров с использованием гибридных материалов.

This article presents a systematic review of the materials used in the manufacture of craniocerectors, based on an analysis of domestic and international scientific sources. It examines the evolution of materials from traditional solutions to modern polymeric, additively manufactured polyamide structures, and composite systems. The main disadvantages of solid polymer shells are identified, including low air permeability, insufficient hygroscopicity, a tendency to creep under prolonged loads, and the risk of damage to the infant skin. Particular attention is paid to the ergonomic and biomechanical aspects of craniocerector function, as the effectiveness of treatment directly depends on correct pressure distribution, ventilation, and maintaining a comfortable microclimate during prolonged wear. The feasibility of developing hybrid craniocerector designs combining rigid shaping elements and textile bases is substantiated. Such solutions enhance the adaptability of the device, improve hygienic characteristics, and allow for individualization of the correction process. The results confirm the potential of this approach and the need for further research into the development of hybrid craniocerebral designs using hybrid materials.

Ключевые слова: текстильные и композиционные материалы, эргономика текстильных изделий, гибридная конструкция, кожа человека, краниокорректор, деформация черепа у младенцев, ортезирование, гигиенические свойства материалов, функциональные материалы, полиамидные оболочки.

Keywords: textile and composite materials, ergonomics of textile products, hybrid design, human skin, craniocorrector, skull deformation of infants, orthotics, hygienic properties of materials, functional materials, polyamide shells.

Введение

Деформация черепа является распространенным отклонением у детей раннего возраста и формируется, как правило, в результате действия сжимающих сил на свод черепа младенца [1, 2]. Несмотря на широкую распространенность данной патологии, влияние деформаций черепа на дальнейшее развитие ребенка изучено недостаточно. Наиболее частыми факторами, способствующими возникновению деформаций, являются длительное пребывание ребенка в фиксированном положении, влияние внутриутробных факторов, а также врожденные нарушения развития опорно-двигательной системы [3, 4].

Для лечения деформаций черепа и предотвращения формирования вторичных деформаций используются специализированные ортезы – краниокорректоры [5, 6]. Согласно данным Мичиганского университета здоровья (2023 г.), ежегодно около 450 младенцев проходят терапию с использованием краниокорректора в Центре ортопедии и протезирования данного университета [7]. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, деформация черепа встречается у 1 из 300 новорожденных (http://disuria.ru/_ld/12/1214_kr21Q67Q75MZ.pdf?ysclid=lpwi6pthb2498537643 (дата обращения: 08.11.2025)), тогда как случаи деформации вследствие преждевременного срастания черепных швов регистрируются в среднем у 1 из 2500 детей.

Эргономические характеристики шлемов выступают ключевым фактором терапевтической эффективности. Наличие дискомфорта, перегрева, нарушений вентиляции или избыточного давления часто приводит к отказу от терапии. Поскольку череп ребенка активно растет, конструкция краниокорректора должна обеспечивать не только фиксацию, но и направленное моделирование формы. Для этого в устройстве выделяют зоны контролируемого давления и зоны компенсаторного свободного объема, за счет которых достигается постепенная коррекция асимметрии.

Ключевым фактором эффективности краниокорректоров выступает не только методика постепенного направленного ремоделирования формы черепа, но и особенности системы применяемых функциональных материалов. Материалы должны обеспечивать оптимальное сочетание прочности, стабильности геометрии, безопасности длительного контакта с кожей младенца и высоких гигиенических характеристик, минимизирующих риск раздражений, перегревания, опрелостей и аллергических реакций. Перечисленные требования как к отдельным материалам, так и к системам материалов обусловливают необходимость дальнейших исследований, направленных на повышение функциональной надежности и адаптируемости краниокорректоров к индивидуальным особенностям пациентов. Цель данного обзора заключается в проведении комплексного и систематизированного анализа современных материалов, применяемых при изготовлении краниокорректоров, а также в научном обосновании целесообразности разработки гибридных конструктивных решений, предусматривающих применение текстильных материалов.

Методы

В рамках настоящего исследования проведена систематизация сведений о материалах, применяемых при производстве краниокорректоров в Российской Федерации и за рубежом. В работе осуществлен анализ литературных источников за период 1830-2025 гг., включающих в себя зарубежные и российские научные публикации, рецензируемые статьи из научных журналов. Полученные результаты позволили рассмотреть эволюцию материалов, используемых в области ортезирования для создания гибридной конструкции краниокорректора для детей с деформацией черепа, которая предусматривает применение текстильных материалов.

Результаты и обсуждения

Краниокорректор – это ортопедический шлем, созданный по форме головы ребенка. Его необходимо носить 23 часа в сутки для эффективной коррекции отклонений [8]. Конструктивно краниокорректоры представляют собой жесткий куполообразный корпус с системой вентиляционных отверстий, внутренними амортизирующими прокладками и регулируемой системой фиксации.

Первые упоминания о применении ортопедического шлема датируются 1979 годом, а широкое распространение в клинической практике стран Европы и Северной Америки краниокорректоры получили в конце 1990-х годов [9…11].

В Российской Федерации сегмент изделий для коррекции, куда входят краниокорректоры, развит в недостаточной степени: на данный момент специализированные ортезы в основном предлагаются отдельными ортопедическими клиниками и медицинскими центрами. Ограниченность ассортимента и низкая степень распространенности продукции свидетельствуют о том, что данный сектор медицинских изделий остается слабо освоенным даже ведущими участниками отечественного рынка.

Материалы, применяемые при изготовлении краниокорректоров, должны соответствовать установленным эксплуатационным и гигиеническим требованиям, обусловленным длительным и непрерывным контактом изделия с кожей младенца. Критически важным элементом конструкции является несущая оболочка краниокорректора, определяющая его пространственно-геометрическую конфигурацию, величину и распределение корректирующего давления, а также механическую защиту черепа от внешних воздействий. Корпус должен обладать стабильностью формы на протяжении всего срока эксплуатации, при этом оставаться максимально легким, чтобы не создавать избыточную нагрузку на шейный отдел позвоночника и не нарушать биомеханику головы ребенка.

Исторически прототипы ортезов, используемые для деформации черепов, которые послужили основой для конструкции краниокорректоров [12], изготавливались преимущественно из традиционных материалов, таких как кожа, древесина и сплавы металлов. Развитие полимерной химии во второй половине XX века обусловило смещение фокуса в сторону термопластичных

и эластомерных материалов (рис. 1 – эволюция материалов для ортезов: а) ортез XIX века; б) современные полимерные ортезы).



а) б)

Рис. 1

Тем не менее, несмотря на технологическую доступность и сравнительно низкую себестоимость, термопластичные и эластомерные материалы демонстрируют ряд существенных ограничений: низкую паро- и воздухопроницаемость, избыточную массу, склонность к пластичным деформациям под длительной нагрузкой, а также ограниченную индивидуализацию под антропометрические и клинические параметры пользователей [13, 14].

Указанные ограничения стимулировали активное внедрение текстильных структур и композиционных материалов, которые превосходят традиционные аналоги по ряду ключевых характеристик. Текстильные полотна обеспечивают малый вес и высокую податливость, а использование в составе углеродных и стеклянных волокон позволяет достигать значительной жесткости создаваемых форм при минимальной массе [15, 16]. Подобные свойства являются критически важными при разработке индивидуальных ортезов для пациентов с неврологическими и травматологическими патологиями [17].

Зарубежные исследователи акцентируют внимание на клинической эффективности и долговременной надежности текстильных и композитных ортезов, демонстрируя высокую перспективность гибридизации полимерных слоев с текстильными армирующими структурами для повышения функциональных характеристик изделий [18]. В российской научной школе значительное внимание уделяется унификации методик исследований и оценке физико-механических параметров текстильных полотен с полимерной пропиткой, а также разработке конструкций со сложными переплетениями и дифференцированными зонами компрессии, призванными обеспечить лучшее терапевтическое воздействие [19…23].

Одними из самых распространенных материалов для изготовления краниокорректоров, стали сополимерные композиции полиэтилена и полипропилена (ПЭ/ПП) [24]. Данные материалы характеризуются технологичностью термоформования, удовлетворительной прочностью и эластичностью, а также низкой себестоимостью, что сделало их привлекательными для серийного производства. Однако такие оболочки имеют сравнительно высокую массу и ограничены в возможностях создания сложных, индивидуализированных геометрических форм.

Другим широко используемым материалом является ABS-пластик (акрилонитрил-бутадиен-стирол) [25], отличающийся высокой ударной вязкостью и технологической простотой переработки. Тем не менее в последние годы его позиция постепенно уступает место более совершенным инженерным полимерам, прежде всего полиамидам и иономерам, обладающим улучшенными механическими и эксплуатационными характеристиками.

Наибольшее распространение в современной практике получили полиамиды PA11 и PA12, активно применяемые в аддитивных технологиях – селективном лазерном спекании (SLS) и мультиструйном спекании (MJF). Полиамиды данной группы характеризуются высокой прочностью, низкой плотностью, устойчивостью к усталостным нагрузкам. Использование технологий 3D-печати обеспечивает возможность производства облегченных, структурно перфорированных оболочек, полностью адаптированных к индивидуальным размерам пациента. Так, краниокорректоры чешской компании "Talee" изготавливают-

ся из PA11/PA12 (https://www.arkema.com/japan/en/webzine/post/hpp/hhp.arkema/3d-printed-cranial-orthosis-with-pa11/ (дата обращения: 12.10.2025)) с диапазоном толщин 0,8…6 мм, что позволяет варьировать жесткость, массу и распределение нагрузок в зависимости от клинических задач.

В международной практике также распространено использование иономерных сополимеров, включая сурлин – материал, обладающий высокой ударной вязкостью, оптической прозрачностью и устойчивостью к растрескиванию [26]. Прозрачность оболочки из сурлина обеспечивает визуальный контроль состояния кожных покровов, что является важным преимуществом при длительном использовании ортеза.

Физико-механические свойства материалов, используемых во внешнем слое краниокорректора, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Плотность, г/см³	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа	Удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору
Сополимерные композиции ПП и ПЭ	0,91	25,00	1,20 (изгиб)	300,00 ± 1,1%	80,00
ABS-пластик	1,05	29,80	1,60…2,40 (изгиб)	50,00	82,00
Полиамид PA11	1,03	50,00	0,02	30,00	74,00
Полиамид PA12	1,04	60,00	0,02	11,00	78,00
Иономер сурлин	0,97	28,30	0,33	460,00	62,00

Слой, непосредственно контактирующий с кожей ребенка, должен удовлетворять наиболее строгим гигиеническим и дерматологическим требованиям. Один из самых широко применяемых материалов для внутреннего слоя – вспененный полиэтилен пластазот [27], характеризующийся малой плотностью, мягкостью и низкой остаточной деформацией. В краниокорректорах толщина подкладочного слоя из пластазота варьирует от 3 до 12 мм, обеспечивая возможность адаптации внутреннего объема шлема.

Аналогами пластазота выступают материалы пелит (https://fillauer.com/prooduct/pelite/ (дата обращения: 14.09.2025)) и алипласт (https://accessgudid.nlm.nih.gov/devices/B151760A0 (дата обращения: 14.09.2025)) – модификации закрытопористых полиэтиленовых пен, обладающие высокой формоустойчивостью и технологичностью механической обработки. В отдельных конструкциях применяются полиуретановые и термополиуретановые пены, обеспечивающие хорошую эластичность и комфорт, но обладающие повышенным риском возникновения раздражений и опрелостей, что требует дальнейшей клинической оценки.

Физико-механические характеристики материалов, описанных ранее, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Плотность, кг/м³	Прочность при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору
Вспененный полиэтилен пластазот	15,00	0,41	167,00	42,00
Закрытопористый полиэтиленовый материал алипласт	192,00	1,65	180,00	40,00
Закрытопористый полиэтиленовый материал пелит	96,00	0,90	200,00	43,00

Для определения показателей установлены значения относительных погрешностей:

- прочность – ± 1,0 %;
- модуль упругости – ± 2,1 %;
- плотность – ±0,5 %;
- удлинение при разрыве – ±1,1 %;
- твердость по Шору – ±1,0 %.

К ключевым требованиям к подкладочным материалам относятся минимальное накопление влаги и пота, устойчивость к

микробному загрязнению и способность обеспечивать комфортные условия при длительном использовании. По этой причине предпочтительными являются материалы с закрытопористой структурой, не впитывающие влагу, но допускающие создания внутренних вентиляционных каналов [28].

В ряде конструктивных решений внутренняя подкладка дополняется локальными вставками овальной или круглой формы, фиксируемыми на внутренней поверхности шлема. Такие элементы позволяют точно регулировать зоны давления и обеспечивают прецизионную коррекцию формы черепа за счет целенаправленного изменения распределения корректирующих нагрузок (https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf23/K230444.pdf (дата обращения: 14.05.2025)).

В отечественной практике изготовления краниальных ортезов в качестве основного конструкционного материала широко применяется полиамид, обладающий малой массой, высокой прочностью и выраженной ячеистой структурой, что обеспечивает оптимальное сочетание эксплуатационных и биомеханических характеристик. Индивидуализация изделия осуществляется на основании трехмерного сканирования черепа пациента, что позволяет учитывать морфологические особенности и степень деформации с высокой точностью. Применение аддитивных технологий, в частности селективного лазерного спекания (SLS), обеспечивает стабильность качества готовых изделий [29].

Вместе с тем современные краниокорректоры, особенно изготовленные из полиэтилена низкого давления (ПНД) методом фрезерования на станках с числовым программным управлением [30], несмотря на высокую прочность – 30 МПа, умеренную жесткость – 0,8…1,3 ГПа, большое относительное удлинение при разрыве – до 500%, демонстрируют существенный недостаток. Под воздействием длительной компрессионной нагрузки наблюдается деформация оболочки на 0,9 см (9%) от ее исходной длины – ползучесть материала (рис. 2 – разница высоты передней и задней частей краниокорректора, находящегося в носке 3 месяца).



Рис. 2

На ранних этапах эксплуатации у большинства пациентов отмечаются кожные раздражения, локальные натертости и повышенное потоотделение, что обусловлено адаптацией мягких тканей к измененным условиям микроклимата и механическому воздействию. Процесс производства постоперационных краниальных ортезов занимает до двух недель, что является значительным сроком даже с учетом предварительной подготовки, проводимой до хирургического вмешательства. В ходе курса лечения требуется изготовление от двух до четырех ортезов, в зависимости от динамики коррекции и эффективности терапевтического воздействия [31…34]. Совокупность данных факторов приводит к существенному увеличению общей стоимости лечения.

Выявленные ограничения сплошных полимерных ортезов (риски локальной перегрузки мягких тканей, термодискомфорт, ползучесть оболочки при длительном давлении, продолжительный цикл изготовления и высокая стоимость курса) обосновывают поиск гибридной конструкции: текстильная основа-чехол с системой карманов и заменяемые жесткие вкладные элементы, формуемые по анатомической модели. Такая конструкция изделия дает возможность точной коррекции за счет замены вкладок, улучшает микроклимат под изделием, делает изделие удобным в эксплуатации (санобработка основы, быстрая замена элементов), а также потенциально сокращает стоимость за счет повторного использования основы при росте головы ребенка [35].

Предложен гибридный краниокорректор (рис. 3 – строение краниокорректора: а) внутренний вид; б) вид спереди), конструктивно выполненный в форме шлемообразной ортезной системы с открытой теменной зоной и незакрытыми ушными областями. Конструкция включает три функционально взаимосвязанных слоя, изготовленных из эластичных текстильных материалов и объединенных между собой: подкладочный, состоящий из трикотажного полотна рибанового переплетения, – 100% хлопок (1); прокладочный из композиционного материала триплин Antynea – 100% хлопок у 1 и 3 слоя, 100% пенополиуретан у 2 слоя (2); внешний из трикотажного полотна бифлекс – 82% нейлон/12% спандекс (3).

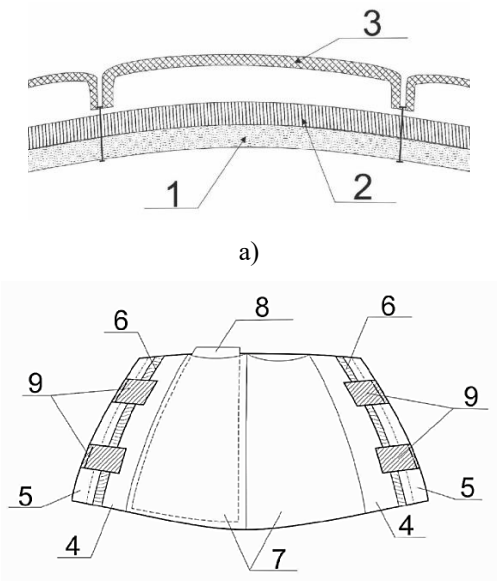


Рис. 3

Подкладочный слой (1) моделируется с учетом анатомо-морфологических особенностей головы ребенка, включая незначительную выпуклость лобной области и диспропорцию между лобным и мозговым отделами черепа, при которой объем лобной части приблизительно в шесть раз меньше объема мозговой. Геометрические параметры подкладочного слоя превышают фактический диаметр головы ребенка на 1…2 см, что обеспечивает необходимый корректирующий резерв и оптимальные условия для распределения давления.

Прокладочный (2) и внешний (3) слои состоят из двух основных сегментов – лобного (4) и затылочного (5), которые соединяются с подкладочным слоем (1) таким образом, что в височных областях формируются технологические зазоры (6). Указанные зазоры способствуют снижению избыточного давления на височные зоны и обеспечивают адаптацию изделия к росту головы.

Во внешнем слое (3) предусмотрены конструктивные элементы в виде карманов (7), предназначенных для размещения корректирующих пластин (8). На лобной части (4) сформированы два кармана, на затылочной части (5) – пять карманов. Отверстия для введения пластин (8) расположены в верхней части каждого кармана, что облегчает их установку и замену в процессе эксплуатации.

В височных областях изделия по краям зазоров (6), между лобным (4) и затылочным (5) сегментами, размещены две текстильные застежки типа "велкро" (9). Данные элементы обеспечивают регулирование объема изделия и его надежную фиксацию на голове ребенка с возможностью индивидуальной подгонки.

Корректирующие пластины выполнены из термопластичной полимерной лонгеты Alfasplint; их толщина составляет 5 мм, что обеспечивает необходимое сочетание жесткости и возможности формообразования [36]. Подкладочный слой изготовлен из материала с воздухопроницаемостью не менее 150 дм³/м² и гигроскопичностью не менее 14 %, что способствует формированию благоприятного микроклимата в подшлемном пространстве. К числу приоритетных характеристик материала внешнего слоя относятся показатели воздухопроницаемости и гигроскопичности, регламентируемые требованиями нормативной документации, в частности положением ТР ТС 017/2011 "О безопасности продукции легкой промышленности" [37].

Зарубежные краниокорректоры, такие как "STARband", "DOC Band", "Talee", представляют собой полностью индивидуализированные изделия, изготавливаемые в основном из литого отрезка полиэтилена высокого давления, который впоследствии

фрезеруется. Срок изготовления зарубежных краниокорректоров после сканирования головы ребенка составляет в среднем 1…2 недели. В предлагаемой конструкции краниокорректора текстильная основа является универсальной, а изготавливаются только корректирующие пластины, что позволяет сократить общее время адаптации изделия до 1 суток.

Существенные различия выявлены и по экономическим показателям. Согласно опубликованным данным [38], стоимость курса лечения одним зарубежным краниокорректором составляет в среднем 150000…300000 рублей. Предлагаемая гибридная конструкция ориентирована на многократную регулировку объема за счет системы текстильных лент "велкро", вследствие чего отсутствует необходимость полного переизготовления изделия. Расчетная стоимость курса лечения при использовании разработанной конструкции может быть снижена до 65000 рублей.

Заключение

Обзор научной литературы, представленный в статье, отражает текущее состояние рынка материалов для краниокорректоров как в Российской Федерации, так и за рубежом. В процессе изготовления изделия данного вида выявляется устойчивая тенденция замещения жестких тяжелых конструкций адаптивными системами. Вместе с тем ключевым недостатком многих краниокорректоров на основе цельных полимерных конструкций является риск повреждения кожных покровов ребенка, что обусловлено особенностями кожи младенцев по сравнению с кожей взрослого человека [39].

Анализ отечественных и зарубежных научных источников по данной проблеме позволил выявить рост требований к материалам для изготовления краниокорректоров и актуализировать необходимость разработки гибридной конструкции краниокорректора, в которой применяемые материалы будут удовлетворять функциональным, эргономическим и гигиеническим требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Taub P.J.* Positional Plagiocephaly, Part 1: A Practical Guide to Evaluation // Consultant for Pediatricians. 2020, № 9(12). P. 8.

2. *Unnithan A., Sina R.E.* Plagiocephaly // Treasure Island: StatPearls Publishing. 2025. P. 15.

3. *Jung B.K., Yun I.S.* Diagnosis and treatment of positional plagiocephaly // Arch Craniofac Surg. 2020. №21(2). P. 80…86.

4. *Kennedy E., Majnemer A., Farmer J.P. etc.* Motor Development of Infants with Positional Plagiocephaly // Physical & Occupational Therapy in Pediatrics. 2009/ № 29(3). P. 222…235.

5. *Tamber M.S., Nikas D., Beier A., Bauer D.F.* Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline on the Role of Cranial Molding Orthosis (Helmet) Therapy for Patients with Positional Plagiocephaly // Neurosurgery. 2016. № 79(5). P. 632…633.

6. *Corte A.D., Rohde M.A.* Use of orthotic helmets in children with positional plagiocephaly and brachycephaly: a systematic review // Childs Nerv Syst. 2025. № 41(1). P. 163.

7. *Richards C.J., Petz A.M., Vallery C.E. etc.* Success Rates of Cranial Remolding Orthosis Treatment of Plagiocephaly Based on Initial Presentation // J Prosthet Orthot. 2024. №36(4). P. 217…223.

8. *Couture D.E., Crantford J.C., Somasundaram A. etc.* Efficacy of passive helmet therapy for deformational plagiocephaly: report of 1050 cases // Neurosurgical Focus. 2013. №35(4). E. 4.

9. *Clarren S.K.* The Beginnings of Helmet Therapy for the Treatment of Deformational Plagiocephaly // JPO Journal of Prosthetics and Orthotics. 2004. № 16 (4). P. 3…4.

10. *Kim S.Y., Park M.S, Yang J.I., Yim S.Y.* Comparison of helmet therapy and counter positioning for deformational plagiocephaly // Ann Rehabil Med. 2013. №37(6). P. 785…795.

11. *Van Wijk R.M., van Vlimmeren L.A., Groothuis-Oudshoorn C.G.M. etc.* Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial // BMJournal. 2014. № 348. P. g2741.

12. *Delpech J.M.* Orthomorphie in Beziehung auf den menschlichen Körper, oder, Ananatomisch-pathologische Betrachtungen über die Ursachen, Vorbauungs- und Heilungsmittel der Hauptdeformitäten und über die wahren Grundsätze der orthopädischen Behandlung. Part 1 // Weimar. Landes-Industrie-Comptoir. 1830. P. 242.

13. *Oud T., Lazzari E., Gijsbers H. etc.* Effectiveness of 3D-printed orthoses for traumatic and chronic hand conditions: A scoping review // Plos One. 2021. № 16(11). P. e0260271.

14. *Xiao Y.P., Xu H.J., Liao W.* Clinical application of instant 3D printed cast versus polymer orthosis in the treatment of colles fracture: a randomized controlled trial // BMC Musculoskelet Disord. 2024. № 25. P. 104.

15. *Klasson B.L.* Carbon fibre and fibre lamination in prosthetics and orthotics: some basic theory and practical advice for the practitioner // Prosthet Orthot Int. 1995. № 19(2). P. 74…91.

16. *Nouri A., Wang L., Li Y., Wen C.* Materials and Manufacturing for Ankle–Foot Orthoses: A Review // Adv. Eng. Mater. 2023. №25. P. 2300238.

17. *Sharma S., Anderson K.M., Pacha M.S. etc.* Carbon Fiber Orthosis Research Network. The effect of carbon fiber custom dynamic orthosis use and design on center of pressure progression and perceived smoothness in individuals with lower limb trauma // Clin Biomech (Bristol). 2024. №117. P. 106284.

18. *Yu A., Yick K.L., Yip J. etc.* A Comparative Study of Fibre Composites and Thermoplastics as Rigid Components of Orthoses. // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. 2018. № 10(2). P. 65…75.

19. *Чагина Л.Л., Рогова К.И., Зимина М.В., Иванов В.В.* Оценка качества систем материалов для адаптивной одежды по комплексу наиболее значимых свойств // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3(411). С. 107…114.

20. *Гусев И.Д., Андреева Е.Г., Шашкова О.Д. и др.* Исследование свойств жестких полимерных полотен для конфекционирования реабилитационных швейных изделий с персонификацией ортопедических прокладок // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1(415). С. 97…107.

21. *Морыганов А.П., Дымникова Н.С., Ерохина Е.В.* Биологически активные текстильные материалы для изделий медицинского и косметического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 6(384). С. 16…22.

22. *Румянцев Е.В., Степанов С.Г., Киселев М.В. и др.* Полимерные композиционные материалы на волокнистой основе: тенденции развития, характеристики, научные направления и технологии // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 14…20.

23. *Ясинская Н.Н., Мурычева В.В., Разумеев К.Э.* Пропитка тканых полотен из химических нитей при формировании текстильных композиционных материалов // Химические волокна. 2020. № 1. С. 27…31.

24. *Trebilcock A.L., Findley J.L., Cherry J.S. etc.* A 10-Year Review of the Efficacy of Cranial Remolding Orthosis Treatment and Factors That Influence Outcomes for Infants with Isolated Deformational Plagiocephaly // Children. 2025. №12. P. 1099.

25. *Sakib-Uz-Zaman C., Khondoker M.* Polymer-Based Additive Manufacturing for Orthotic and Prosthetic Devices: Industry Outlook in Canada // Polymers (Basel). 2023. № 15(6). P. 1506.

26. *Jung B.K., Yun I.S.* Diagnosis and treatment of positional plagiocephaly // Arch Craniofac Surg. 2020. № 21(2). P. 80…86.

27. *Kropla F., Hoffmann M., Winkler D.* Development of an individual helmet orthosis for infants based on a 3D scan // 3D Print Med. 2023. № 9. P. 22.

28. Пат. WO2017042550Cl Международный. A61F5/05891. Cranial remoulding orthosis and method of manufacture thereof.

29. *Pelczarski M., Kazimierczuk K., Mydlikowska M.* 3D Printing in the Creation of Orthopedic Prostheses and Orthoses. // J. Med. Biol. Eng. 2025. № 45. P. 611…623.

30. *Kanthabhabha J., Bouzid A.* Compression Creep and Thermal Ratcheting Behavior of High Density Polyethylene // Polymers. 2018ю№ 10. P. 156.

31. *Delye H., Borstlap W., van Lindert E.* Endoscopy-assisted craniosynostosis surgery followed by helmet therapy // Surg Neurol Int. 2018. № 9. P. 59.

32. Treatment of Head Shape Anomalies: Cranial Remolding (Helmet Therapy) // Ann & Robert H. Lurie. Children's Hospital of Chicago. – URL: https://www.luriechildrens.org/en/specialties-conditions/ pediatric-orthotics/head-shape-program/ ?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 18.09.2025).

33. *Iyer R.R., Ye X., Jin Q. etc.* Optimal duration of postoperative helmet therapy following endoscopic strip craniectomy for sagittal craniosynostosis // Journal of Neurosurgery: Pediatrics PED. 2018. № 22(6). P. 610…615.

34. *Hevia-Rodríguez P., Romero-López C., Martín-Fernández J. etc.* Endoscopy-Assisted Craniosynostosis Surgery without Postoperative Helmet Molding Therapy // World Neurosurgery. 2024. № 183. P. 79…85.

35. Пат. 2835355 C1 Российская Федерация, МПК A61F 5/01. Краниокорректор для детей грудного возраста.

36. *Абдуллаева А.С. Тихонова Н.В., Жуковская Т.В., Хасаншин Р.Р.* Исследование физико-механических свойств полимерных текстильных материалов краниокорректора для детей с деформацией черепа // Костюмология. 2025. Т. 10, № 1.

37. *Сташева М.А., Новосад Т.Н., Евсеева Н.В., Гусев Б.Н.* Испытания трикотажных полотен с целью подтверждения соответствия // Технологии и качество. 2020. № 1(47). С. 22…25.

38. *Watt A., Arms J., Bettger W.* Practical Review of the Cost of Diagnosis and Management of Positional Plagiocephaly // Surgical Neurology International. 2022. №13. P. 269.

39. *Telofski L.S., Morello A.P., Mack M.C., Correa G.N.* Stamatas the infant skin barrier: can we preserve, protect, and enhance the barrier? // Dermatol Res Pract. 2012. № 2012. P. 198789.

REFERENCES

1. *Taub P.J.* Positional Plagiocephaly, Part 1: A Practical Guide to Evaluation // Consultant for Pediatricians. 2020. № 9(12). P. 8.

2. *Unnithan A., Sina R.E.* Plagiocephaly // Treasure Island: StatPearls Publishing. 2025. P. 15.

3. *Jung B.K., Yun I.S.* Diagnosis and treatment of positional plagiocephaly // Arch Craniofac Surg. 2020, №21(2). P. 80…86.

4. *Kennedy E., Majnemer A., Farmer J.P. etc.* Motor Development of Infants with Positional Plagiocephaly // Physical & Occupational Therapy in Pediatrics. 2009. № 29(3). P. 222…235.

5. *Tamber M.S., Nikas D., Beier A., Bauer D.F.* Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline on the Role of Cranial Molding Orthosis (Helmet) Therapy for Patients with

Positional Plagiocephaly // Neurosurgery. 2016. № 79(5). P. 632…633.

6. *Corte A.D., Rohde M.A.* Use of orthotic helmets in children with positional plagiocephaly and brachycephaly: a systematic review // Childs Nerv Syst. 2025. № 41(1). P. 163.

7. *Richards C.J., Petz A.M., Vallery C.E. etc.* Success Rates of Cranial Remolding Orthosis Treatment of Plagiocephaly Based on Initial Presentation // J Prosthet Orthot. 2024. №36(4). P. 217…223.

8. *Couture D.E., Crantford J.C., Somasundaram A. etc.* Efficacy of passive helmet therapy for deformational plagiocephaly: report of 1050 cases // Neurosurgical Focus. 2013. №35(4). E. 4.

9. *Clarren S.K.* The Beginnings of Helmet Therapy for the Treatment of Deformational Plagiocephaly // JPO Journal of Prosthetics and Orthotics. 2004. № 16 (4). P. 3…4.

10. *Kim S.Y., Park M.S, Yang J.I., Yim S.Y.* Comparison of helmet therapy and counter positioning for deformational plagiocephaly // Ann Rehabil Med. 2013. №37(6). P. 785…795.

11. *Van Wijk R.M., van Vlimmeren L.A., Groothuis-Oudshoorn C.G.M. etc.* Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial // BMJournal. 2014. № 348. P. g2741.

12. *Delpech J.M.* Orthomorphie in Beziehung auf den menschlichen Körper, oder, Ananatomisch-pathologische Betrachtungen über die Ursachen, Vorbauungs- und Heilungsmittel der Hauptdeformitäten und über die wahren Grundsätze der orthopädischen Behandlung. Part 1 // Weimar. Landes-Industrie-Comptoir. 1830. P. 242.

13. *Oud T., Lazzari E., Gijsbers H. etc.* Effectiveness of 3D-printed orthoses for traumatic and chronic hand conditions: A scoping review // Plos One. 2021. № 16(11). P. e0260271.

14. *Xiao Y.P., Xu H.J., Liao W.* Clinical application of instant 3D printed cast versus polymer orthosis in the treatment of colles fracture: a randomized controlled trial // BMC Musculoskelet Disord. 2024. № 25. P. 104.

15. *Klasson B.L.* Carbon fibre and fibre lamination in prosthetics and orthotics: some basic theory and practical advice for the practitioner // Prosthet Orthot Int. 1995. № 19(2). P. 74…91.

16. *Nouri A., Wang L., Li Y., Wen C.* Materials and Manufacturing for Ankle–Foot Orthoses: A Review // Adv. Eng. Mater. 2023. №25. P. 2300238.

17. *Sharma S., Anderson K.M., Pacha M.S. etc.* Carbon Fiber Orthosis Research Network. The effect of carbon fiber custom dynamic orthosis use and design on center of pressure progression and perceived smoothness in individuals with lower limb trauma // Clin Biomech (Bristol). 2024. №117. P. 106284.

18. *Yu A., Yick K.L., Yip J. etc.* A Comparative Study of Fibre Composites and Thermoplastics as Rigid Components of Orthoses // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. 2018. № 10(2). P. 65…75.

19. *Chagina L.L., Rogova K.I., Zimina M.V., Ivanov V.V.* Assessment of the quality of materials systems for adaptive clothing according to the complex of the most significant properties // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 3(411). P. 107…114.

20. *Gusev I.D., Andreeva E.G., Shashkova O.D. etc.* Research of properties of rigid polymeric fabrics for confectioning rehabilitation sewing products with personification of orthopedic pads // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 1(415). P. 97…107.

21. *Moryganov A.P., Dymnikova N.S., Erohina E.V.* Biologically active textile materials for medical and cosmetic products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. № 6(384). P. 16…22.

22. *Rumyancev E.V., Stepanov S.G., Kiselev M.V. etc.* Fiber-based polymer composite materials: development trends, characteristics, scientific directions and technologies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 6(396). P. 14…20.

23. *Yasinskaya N.N., Murycheva V.V., Razumeev K.E.* Impregnation of woven fabrics made of chemical threads during the formation of textile composite materials // Himicheskie volokna. 2020. №1. P. 27…31.

24. *Trebilcock A.L., Findley J.L., Cherry J.S. etc.* A 10-Year Review of the Efficacy of Cranial Remolding Orthosis Treatment and Factors That Influence Outcomes for Infants with Isolated Deformational Plagiocephaly // Children. 2025. №12. P. 1099.

25. *Sakib-Uz-Zaman C., Khondoker M.* Polymer-Based Additive Manufacturing for Orthotic and Prosthetic Devices: Industry Outlook in Canada // Polymers (Basel). 2023. № 15(6). P. 1506.

26. *Jung B.K., Yun I.S.* Diagnosis and treatment of positional plagiocephaly // Arch Craniofac Surg. 2020. № 21(2). P. 80…86.

27. *Kropla F., Hoffmann M., Winkler D.* Development of an individual helmet orthosis for infants based on a 3D scan // 3D Print Med. 2023. № 9. P. 22.

28. Patent WO2017042550Cl International. A61F5/05891. Cranial remoulding orthosis and method of manufacture thereof.

29. *Pelczarski M., Kazimierczuk K., Mydlikowska M.* 3 D Printing in the Creation of Orthopedic Prostheses and Orthoses // J. Med. Biol. Eng. 2025. № 45. P. 611…623.

30. *Kanthabhabha J., Bouzid A.* Compression Creep and Thermal Ratcheting Behavior of High Density Polyethylene // Polymers. 2018. № 10. P. 156.

31. *Delye H., Borstlap W., van Lindert E.* Endoscopy-assisted craniosynostosis surgery followed by helmet therapy // Surg Neurol Int. 2018. № 9. P. 59.

32. Treatment of Head Shape Anomalies: Cranial Remolding (Helmet Therapy) // Ann & Robert H. Lurie. Children's Hospital of Chicago. – URL: https://www.luriechildrens.org/en/specialties-conditions/pediatric-orthotics/head-shape-program/?utm_source=chatgpt.com (date of access: 18.09.2025).

33. *Iyer R.R., Ye X., Jin Q. etc.* Optimal duration of postoperative helmet therapy following endoscopic strip craniectomy for sagittal craniosynostosis // Journal of Neurosurgery: Pediatrics PED. 2018. № 22(6). P. 610…615.

34. *Hevia-Rodríguez P., Romero-López C., Martín-Fernández J. etc.* Endoscopy-Assisted Craniosynostosis Surgery without Postoperative Helmet Molding Therapy // World Neurosurgery. 2024. № 183. P. 79…85.

35. Patent 2835355 C1 Russian Federation, A61F 5/01. Craniocorrector for infants.

36. *Abdullaeva A.S., Tikhonova N.V., Zhukovskaya T.V., Hasanshin R.R.* Study of the physical and mechanical properties of polymer textile materials of a craniocerebral corrector for children with skull deformities // Kostyumologiya. 2025. №10. P. 1.

37. *Stasheva M.A., Novosad T.N., Evseeva N.V., Gusev B.N.* Testing of knitted fabrics to confirm compliance // Tekhnologii i kachestvo. 2020. №1(47). P. 22…25.

38. *Watt A., Arms J., Bettger W.* Practical Review of the Cost of Diagnosis and Management of Positional Plagiocephaly // Surgical Neurology International. 2022. №13. P. 269.

39. *Telofski L.S., Morello A.P., Mack M.C., Correa G.N.* Stamatas the infant skin barrier: can we preserve, protect, and enhance the barrier? // Dermatol Res Pract. 2012. № 2012. P. 198789.

Рекомендована кафедрой конструирования одежды и обуви КНИТУ. Поступила 27.03.26.

УДК 006.1:677.019
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_15

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

ANALYSIS OF STATE AND DIRECTION OF TEXTILE MATERIALS AND PRODUCTS STANDARDIZATION DEVELOPMENT

Т.О. ГОЙС, М.А. СТАШЕВА, Т.Н. НОВОСАД, Л.В. ДРЯГИНА, Б.Н. ГУСЕВ

T.O. GOIS, M.A. STASHEVA, T.N. NOVOSAD, L.V. DRYAGINA, B.N. GUSEV

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: mtsm@ivgpu.com

Повышение качества и конкурентоспособности отечественной продукции предприятий текстильной и легкой промышленности в определенной мере зависит и от состояния нормативной базы ее отраслей. В работе осуществлен анализ современного состояния нормативного обеспечения процессов производства и менеджмента качества текстильной и швейной продукции, а также текстильных изделий технического назначения.

Выделены актуальные направления по дальнейшему совершенствованию отраслевой стандартизации в областях построения и развития систем менеджмента качества текстильных предприятий, методов оценки качества (сортности) готовой продукции, формирования системы показателей качества новых видов текстильных материалов и изделий, цифровых методов измерения показателей качества.

Отдельно выделены направления в развитии отраслевой стандартизации для производства, контроля качества и применения геотекстильных материалов в соответствующих отраслях строительства.

Improving the quality and competitiveness of domestic textile and light industry products depends to a certain extent on the regulatory framework for these industries. The paper analyzes the current state of regulatory support for the production and quality management of textile and clothing products, as well as technical textiles. The current directions for further improvement of industry standardization in the areas of building and developing quality management systems for textile enterprises, methods for assessing the quality (grade) of finished products, the formation of a system of quality indicators for new types of textile materials and products, and digital methods for measuring quality indicators are identified. The directions in the development of industry standardization for the production, quality control and application of geotextile materials in the relevant construction industries are highlighted..

Ключевые слова: текстильные материалы и изделия, отраслевая стандартизация, система менеджмента качества, сортность, система показателей качества, цифровые методы оценки.

Keywords: textile materials and products, industry standardization, quality management system, grade, quality indicator system, digital assessment methods.

Введение

Национальная система стандартизации представляет собой взаимосвязанную совокупность организационно-функциональных элементов, документов в области стандартизации. Документы в области стандартизации направлены на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции, повышение конкурентоспособности продукции (работ, услуг) и реализацию иных целей и задач стандартизации. Формирование Программы национальной стандартизации осуществляется с учетом оценки ее вклада в мероприятия по достижению национальных целей развития Российской Федерации, определенных Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309. Так, например, около 700 тем новых ГОСТов направлены на обеспечение технологического лидерства и порядка 450 – на формирование комфортной и безопасной среды для жизни.

Помимо формирования законодательной базы стандартизации [1], регулярно принимаются Концепции развития национальной системы стандартизации на текущий период. Концепция [2] предусматривает организационное и методическое единство национальной системы стандартизации с учетом особенностей отраслей и сфер общества.

Что касается отраслевой стандартизации по объектам текстильной и легкой промышленности, то приведенный в табл. 1 количественный анализ действующих отечественных документов по стандартизации на конец 2025 года указывает на значительное нормативное обеспечение в направлении формирования технических условий на продукцию, номенклатуру, нормы и методы измерения показателей качества (ПК), формы комплексной оценки качества продукции.

Таблица 1

Вид документа по стандартизации	Текстильные материалы и изделия				
	волокна	нити	полотна	швейные изделия	технический текстиль
Технические условия	42	22	61	117	36
Номенклатура, нормы и методы измерения ПК	37	32	162	33	44
Методы оценки качества (сортности)	4	2	12	15	-

Данные, приведенные в табл. 1, прежде всего указывают на позитивную динамику в разработке технических условий, связанную с постановкой на производство новых видов текстильной и швейной продукции.

Результаты и обсуждения

Проблема повышения конкурентоспособности продукции российских предприятий текстильной и легкой промышленности тесно связана с адаптацией положений международных стандартов по менеджменту качества к соответствующим отраслевым документам по стандартизации.

В отличие от других отраслей (например, строительной [3]), текстильная отрасль пока не располагает соответствующими методическими разработками по адаптации международных стандартов в области менеджмента качества применительно к специфике производства не только бытового, но и технического текстиля. Инициативу в проведении данной работы мог бы взять на себя Российский союз предпринимателей текстильной и легкой промышленности (Союзлегпром), одной из целей которого является повышение конкурентоспособности отечественной продукции предприятий текстильной и легкой промышленности на мировом рынке. В свою очередь, разработкой соответствующих стандартов (методических рекомендаций) отраслевой направленности в области менеджмента качества могли бы заняться российские вузы, имеющие практический опыт в студенческой проектной деятельности в области создания и повышения качества изделий текстильной и легкой промышленности.

Аналогичная проблема имеется по обобщению опыта и методическому обеспечению внедрения методов бережливого производства с учетом подходов, прописанных в национальных стандартах. Несмотря на значительную методическую проработку (всего на сегодняшний день по методологии бережливого производства разработано и опубликовано 11 национальных стандартов), в отраслевых методических рекомендациях недостаточно аккумулирован накопленный положительный опыт [4] с учетом имеющейся специфики текстильных и швейных производств.

В методологии оценки качества потребительской продукции выделяют два подхода, а именно оценку качества по стандартам и оценку качества на основе применения методов квалиметрии.

Анализ действующих документов по стандартизации на оценку качества текстильных материалов и изделий показывает, что процесс оценки качества по стандартам последовательно включает следующие операции: "выявление единичных показателей качества → установление градации качества → определение уровней градации качества". Для различных текстильных изделий применяют следующие наименования градаций: сорт, тип, класс, качество, номер. Уровни градаций качества выделяются как словесными (высший, хороший, средний), так и числовыми данными (1, 2,…) [5].

В табл. 2 приведен перечень стандартов на установление сортности отдельных текстильных изделий.

Таблица 2

Номер стандарта	Наименование стандарта
ГОСТ 161-86	Ткани хлопчатобумажные, смешанные и из пряжи химических волокон. Определение сортности
ГОСТ 358-82	Ткани чистошерстяные и полушерстяные. Определение сортности
ГОСТ 187-85	Ткани шелковые и полушелковые. Определение сортности
ГОСТ 357-75	Ткани льняные и полульняные (смешанные). Определение сортности
ГОСТ 23244-78	Полотна вязально-прошивные хлопчатобумажные и смешанные бытового назначения. Определение сортности
ГОСТ 1115-81	Изделия трикотажные верхние. Определение сортности
ГОСТ 1136-81	Изделия трикотажные бельевые. Определение сортности
ГОСТ 12566-88	Изделия швейные бытового назначения. Определение сортности

Указанные в табл. 2 документы по стандартизации имеют всего два уровня (1 сорт, 2 сорт) для оценки качества готовых изделий, что не соответствует современным требованиям потребителей. По этой причине назрела необходимость пересмотра

данных документов по стандартизации с учетом предлагаемых научно-методических решений (см., например, работы [6, 7]).

Стандарты системы показателей качества продукции (СПКП) имеют унифицированное содержание и включают перечень показателей качества группы однородной продукции, в котором выделены основные потребительские показатели (характеристики) с указанием единиц измерения. В большинстве стандартов СПКП представлены алфавитные перечни показателей качества, а также даны определения применяемых в стандартах терминов.

Стандарты СПКП предназначены для проектирования требуемого уровня качества продукции при создании технических условий (ТУ) на выпуск продукции. Отдельные стандарты СПКП на текстильную продукцию приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер стандарта	Наименование в системе показателей качества продукции (СПКП)
ГОСТ 4.3 -78	СПКП. Ткани и штучные изделия хлопчатобумажные и смешанные бытового назначения. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.5-76	СПКП. Ткани и штучные тканые изделия чистошерстяные, шерстяные и полушерстяные. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.6 - 85	СПКП. Ткани шелковые и полушелковые бытового назначения. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.8-2003	СПКП. Пряжа хлопчатобумажная и смешанная. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.34-84	СПКП. Полотна нетканые и штучные нетканые изделия бытового назначения. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.45-86	СПКП. Изделия швейные бытового назначения. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.68-81	СПКП. Шерсть натуральная сортированная. Номенклатура показателей

В то же время за последние десятилетия ассортимент текстильных изделий значительно изменился, появились новые виды текстильных материалов, например, мембранные ткани [8] с широкой номенклатурой по разновидностям, объемные волокнистые теплоизоляционные материалы Холлофайбер® [9] с различной структурой и плотностью и др. Поэтому для проектирования новых видов продукции и создания соответствующих технических условий на их производство необходимо продолжить разработку стандартов на систему показателей качества новых однородных изделий с учетом предлагаемых научно-методических рекомендаций в этом направлении стандартизации [10].

В этой связи необходимым условием широкого применения волокнистых теплоизоляционных материалов в строительстве является создание нормативной и совершенствование информационной базы в этой области, направленной на формирование рациональной номенклатуры показателей качества, корректировку нормативных значений определяющих показателей качества, разработку и введение в действие методов оценки их сохраняемости и долговечности в различных условиях эксплуатации. Поэтому совершенствование соответствующих технических условий в рамках оценки общего уровня качества волокнистых теплоизоляционных материалов целесообразно осуществлять в направлениях уточнения номенклатуры и нормативных значений единичных показателей качества, а также совершенствования методов количественной оценки показателей качества на основе современного уровня автоматизации.

При производстве и использовании текстильных материалов технического назначения (в частности, геотекстильной продукции) в направлении обеспечения и контроля качества следует отметить положительный опыт отраслевой стандартизации в дорожном строительстве.

Согласно рейтингу эффективности деятельности технических комитетов по стандартизации по итогам работы за 2024 год ТК 465 "Строительство" занимает первое место из 259 действующих технических комитетов.

Динамику создания отраслевой нормативной базы для технического текстиля (геотекстильных материалов) можно проследить следующим образом. Существовав-

шие ранее документы по стандартизации, внесенные ТК 412 "Текстиль", относились к геотекстильным материалам и решали проблемы отбора проб (ГОСТ Р 50275-92), определения толщины (ГОСТ Р 50276-92), поверхностной плотности (ГОСТ Р 50277-92), водопроницаемости (ГОСТ Р 52608-2006) и характеристик открытых пор (ГОСТ Р 53238-2008). Толчком к развитию нормативной базы геотекстиля стало создание Росавтодором серии отраслевых дорожных методических документов (ОДМ). На сегодняшний день действуют 12 отраслевых методических документов по геотекстильным изделиям различного назначения. В частности, ОДМ 218.2.046-2014 "Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве", ОДМ 218.2.047-2014 "Методика оценки долговечности геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве" и другие.

В настоящее время ведется разработка стандартов на методы определения специфических характеристик геотекстильных материалов, включая повреждаемость (стойкость к циклическим нагрузкам), морозостойкость, стойкость к агрессивным средам, относительное удлинение при максимальной нагрузке.

В условиях широкого внедрения информационных технологий при производстве текстильной продукции на этапе выходного контроля ее качества интенсивно развивается направление [11] создания цифровых методов измерений показателей качества.

Для внедрения новых цифровых методов оценки показателей качества в отделах технического контроля текстильных предприятий и испытательных центрах необходимо решить ряд задач по их отраслевой (производственной) стандартизации. Основные из них следующие:

- расширение номенклатуры показателей качества текстильных материалов относительно стандартов СПКП групп однородной продукции;

- формирование единой методологии при комплексной оценке качества искомого текстильного материала (изделия);

- формулирование общего принципа описания операций цифрового метода измерения (формирование алгоритма измерений, установка корректности применения периферийных средств: сканеров, фотоаппаратов, принтеров и т. д.);

- необходимость обязательной защиты в рамках патентного права на изобретение и авторского права на программу для ЭВМ;

- указание соответствующего языка программирования и представление листинга программы в приложении к стандарту или ссылки на сайт, с которого можно скачать данную программу;

- определение необходимости аттестации используемого метода компьютерного измерения и процедурные мероприятия в соответствующем аккредитованном аттестационном органе, если будут применены косвенные методы измерений контролируемого показателя качества.

В Ы В О Д Ы

1. Показана необходимость разработки отраслевого методического обеспечения для предприятий текстильной и легкой промышленности в направлении адаптации международных стандартов к национальным стандартам по менеджменту качества продукции и бережливому производству.

2. Предложены варианты совершенствования стандартов на комплексное определение качества (сортности) готовых текстильных изделий, в том числе с использованием методов квалиметрии.

3. Определены условия дальнейшего совершенствования стандартов на систему показателей качества по отдельным видам однородной текстильной продукции.

4. Определена позитивная динамика по отраслевой стандартизации геотекстильных материалов в направлении методов оценки качества продукции.

5. Предложен алгоритм решения проблемы стандартизации цифровых методов измерения показателей качества текстильных материалов и изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. О стандартизации в Российской Федерации: Федеральный закон РФ №162-ФЗ от 29 июня 2015 года.

2. Концепция развития национальной системы стандартизации Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 24 сентября 2012 года №1762-р.

3. МДС 12-1.98. Рекомендации по созданию систем качества в строительно-монтажных организациях (на базе стандартов ИСО 9000). М., 2002.

4. *Шушунин Д.Н., Круглов А.В., Зяблов А.В., Грузинцева Н.А.* Применение инструментов бережливого производства на примере организации работы склада отделочного производства текстильного предприятия // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №5. С. 20…24.

5. *Новосад Т.Н., Гойс Т.О., Сташева М.А. и др.* Анализ состояния и направления совершенствования оценки качества текстильных материалов и изделий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №4. С. 5…24.

6. *Гойс Т.О., Сташева М.А., Новосад Т.Н., Гусев Б.Н.* Формирование методики оценивания высокого уровня качества трикотажных изделий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №5. С. 181…186.

7. *Денисова О.Н., Кирюхин С.М.* Совершенствование комплексной оценки качества тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2007. № 2. С. 22…26.

8. *Панкевич Д.К., Ивашко Е.И, Кудрицкий В.Г.* Оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов различных структур // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №6. С. 51…59.

9. *Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Иванов В.В.* Исследование влияния низкотемпературной плазмы на свойства нетканого материала Холлофайбер® // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №5. С. 140…145.

10. *Онипченко Н.А., Зяблов В.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.* Совершенствование нормативного обеспечения при оценке качества волокнистых теплоизоляционных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №6. С. 63…68.

11. *Новосад Т.Н., Сташева М.А., Гойс Т.О. и др.* Анализ и перспективы развития цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №3. С. 15…33.

REFERENCES

1. Federal Law of the Russian Federation No. 162-FZ dated June 29, 2015. On Standardization in the Russian Federation.

2. The Concept for the Development of the National Standardization System of the Russian Federation, approved by Order No. 1762-r of the Government of the Russian Federation dated September 24, 2012.

3. Recommended Practice for Development of Quality Systems in Construction and Installation Organizations (Based on ISO 9000 Standards). 2002.

4. *Shushunin D.N., Kruglov A.V., Zyablov V.A., Gruzintseva N.A.* The use of lean manufacturing tools on the example of warehouse work organization of textile enterprise finishing production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024, 5. P. 20...24.

5. *Novosad T.N., Gois T.O., Stasheva M.A. and others.* Analysis of state and directions of quality assessment improvement of textile materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, 4. P. 5...24.

6. *Gois T.O., Stasheva M.A., Novosad T.N., Gusev B.N.* Developing of assessment methodology for high -quality knitwear // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 5. P. 181...186.

7. *Denisova O.N., Kiryukhin S.M.* Improving the comprehensive assessment of tissue quality // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2007, 2. P. 22...26.

8. *Pankevich D.K., Ivashko E.I., Kudritskiy V.G.* Evaluating the properties of multilayer membrane textile materials with different structures // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 6. P. 51...59.

9. *Lisanevich M.S., Galimzyanova R.YU., Ivanov V.V* Investigation of the effect of low-temperature plasma on the properties of non-woven material Holowfiber® // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 5. P. 140...145.

10. *Onipchenko N.A., Zyablov V.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N.* Regulatory support improvement for the assessment of fibrous thermal insulation materials quality // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 6. P. 63...68.

11. *Novosad T.N., Stasheva M.A., Gois T.O. and other.* Analysis and prospects for the development of digital methods for measuring the properties of textile materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, 3. P. 15...33.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ. Поступила 29.12.25.

УДК 66.045
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_21

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

MODERN TECHNOLOGIES IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM AT TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES

И.Ю. ГОЛОВАНОВ, Д.Д. ДАЯНОВА, М.Г. ЛАГУТКИН, А.С. СОКОЛОВ

I.YU. GOLOVANOV, D.D. DAYANOVA, M.G. LAGUTKIN, A.S. SOKOLOV

(Московский политехнический университет)

(Moscow Polytechnic University)

E-mail: igol95@yandex.ru, diyanad@mail.ru, lag53@yandex.ru, a.s.sokolov@mospolytech.ru

В статье представлен анализ современных цифровых технологий, применяемых в системе управления охраной труда на предприятиях текстильной промышленности. Рассмотрены ключевые риски текстильных производств (механические травмы, воздействие химических веществ, неблагоприятный микроклимат, шум, запыленность) и обосновывается необходимость интеграции цифровых решений для их минимизации. Отмечены такие направления, как промышленный интернет вещей и автоматизированный мониторинг условий труда, применение технологий виртуальной и дополненной реальности для обучения персонала, использование предиктивной аналитики для прогнозирования инцидентов, внедрение цифровых двойников и интеллектуальных систем контроля качества, а также цифровизация документооборота в сфере охраны труда. На основе анализа выявлены преимущества, недостатки и перспективы цифровой трансформации системы управления охраной труда в текстильной отрасли.

This article presents an analysis of modern digital technologies used in occupational health and safety management systems at textile industry enterprises. The key risks of textile industries (mechanical injuries, exposure to chemicals, unfavorable microclimate, noise, dust) are considered and the need to integrate digital solutions to minimize them is justified. Key areas of focus include the Industrial Internet of Things (IoT) and automated monitoring of working conditions, the use of virtual and augmented reality technologies for personnel training, the use of predictive analytics to forecast incidents, the implementation of digital twins and intelligent quality control systems, and the digitalization of occupational health and safety document flow. The analysis identifies the advantages, disadvantages, and prospects for the digital transformation of the occupational health and safety management system in the textile industry.

Ключевые слова: охрана труда, текстильная промышленность, цифровые технологии, интернет вещей, виртуальная реальность, обучение персонала, предиктивная аналитика, цифровые двойники, автоматизация, роботизация, промышленная безопасность.

Keywords: occupational health, textile, digital, Internet of Things (IoT), virtual reality, staff training, predictive analytics, digital twins, automation, robotics, industrial safety.

Введение

Охрана труда представляет собой комплексную систему правовых, социально-экономических, организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, нацеленных на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе трудовой деятельности [1]. К числу ее ключевых задач относятся предотвращение несчастных случаев, минимизация профессиональных заболеваний, организация безопасных рабочих мест, обеспечение работников средствами защиты, обучение персонала, снижение социальной напряженности, а также участие в разработке нового, более безопасного оборудования [1].

Развитие текстильной отрасли сдерживается рядом проблем: высокая степень износа основных фондов (до 70…80%), значительная доля ручного труда, зависимость от импортного сырья и дефицит квалифицированных кадров [2]. Производственные процессы сопряжены с рисками для здоровья и жизни работников: механические травмы от движущихся частей станков, воздействие химических реагентов и красителей, выделение пыли и волокон, повышенный уровень шума и вибрации, неблагоприятные микроклиматические условия, а также опасность возгорания текстильных материалов [3].

Традиционные подходы к управлению охраной труда на текстильных предприятиях во многом характеризуются большими объемами слабо связанных данных, рутинными операциями, зависимостью от человеческого фактора и недостаточным использованием аналитических инструментов [4]. Цифровая трансформация системы управления охраной труда (СУОТ) является актуальным направлением развития культуры безопасности на предприятиях текстильной отрасли.

Рассмотрим современные цифровые технологии, применяемые в СУОТ на предприятиях текстильной промышленности, и проанализируем практику их использования для выявления основных преимуществ, недостатков и перспектив развития.

Постановка задачи обзора

Современное состояние СУОТ на предприятиях текстильной отрасли характеризуется рядом системных проблем, препятствующих переходу от реактивной модели реагирования на инциденты к проактивной модели предотвращения рисков. Традиционные подходы к управлению охраной труда, основанные на бумажном документообороте и ретроспективном анализе, демонстрируют ограниченную эффективность ввиду фрагментации данных, запаздывания управляющих воздействий и выраженной зависимости от человеческого фактора [4…6].

В то же время текстильная отрасль обладает значительным потенциалом для внедрения технологий Индустрии 4.0, что подтверждается государственными программами цифровой экономики и концепцией "фабрик будущего" [7, 8]. Однако процесс цифровой трансформации СУОТ носит фрагментарный характер и сталкивается с рядом экономических, технических и кадровых барьеров. Наблюдается отсутствие системного подхода к интеграции разрозненных цифровых решений, таких как промышленный интернет вещей (IIoT), предиктивная аналитика и VR-обучение, в единую экосистему безопасности.

Таким образом, в рамках настоящего обзора поставлена задача: на основе критического анализа существующих цифровых технологий, применимых для минимизации ключевых рисков текстильного производства, выявить основные преимущества, недостатки и перспективы их имплементации, а также сформулировать комплексный подход к цифровой трансформации СУОТ, обеспечивающий переход к культуре "нулевого травматизма". Формально задача сводится к синтезу структурно-функциональной модели современной СУОТ, интегрирующей потоки данных от устройств IIoT, систем компьютерного зрения, носимых

устройств и облачных платформ для создания единого информационного пространства принятия управленческих решений.

Методы проведения обзора

Методологическая база обзора основана на комплексе общенаучных и специальных методов, обеспечивающих системный анализ цифровой трансформации СУОТ в текстильной промышленности.

Системный анализ и синтез. Метод применялся для декомпозиции СУОТ как сложной социотехнической системы на функциональные подсистемы (мониторинг условий труда, обучение персонала, анализ инцидентов, документооборот) и последующего синтеза этих элементов в рамках концепции единой цифровой экосистемы. Это позволило не только структурировать множество технологий по функциональному признаку, но и выявить эмерджентные свойства, возникающие при их интеграции, в частности, синергетический эффект от объединения данных сенсоров микроклимата и носимых устройств для персонализированной оценки профессионального риска в реальном времени [1].

Компаративный анализ технологий. Для оценки эффективности и зрелости цифровых решений проведен сравнительный анализ по ряду критериев: степень снижения конкретных видов риска (травматизм, профессиональные заболевания), стоимость внедрения и владения, барьеры масштабирования, влияние на культуру безопасности. Источниковой базой послужили научные публикации в высокорейтинговых журналах, индексируемых в РИНЦ и международных базах данных, а также отраслевые кейсы внедрения [9…17]. Внимание уделялось анализу неочевидных рисков, таких как биологический фактор в условиях повышенной влажности и запыленности, и поиску цифровых инструментов их контроля, включая интеграцию данных экспресс-методов микробиологического анализа (https://biocontrolgr.ru/tproduct/929357605492-test-plastina-gribi-drozhzhi-pleseni (дата обращения: 10.03.2026)).

Структурно-функциональное моделирование. Данный метод использовался для разработки обобщенной архитектуры перспективной цифровой СУОТ. Формализованы информационные потоки между уровнями сбора данных (сенсоры, камеры, носимые устройства), уровнем аналитики (предиктивные модели, цифровые двойники) и уровнем принятия решений и обучения (облачные платформы, системы оповещения, VR/AR-тренажеры). Модель позволяет визуализировать процесс перехода от реактивного сбора данных типа "Что и где произошло?" к предиктивному анализу по типу "Что и почему может произойти?" [12, 18].

Применение данного комплекса методов позволяет обеспечить необходимый уровень верификации и достоверности полученных выводов, а также сформировать научно обоснованный подход к цифровой трансформации охраны труда на предприятиях текстильной отрасли.

Законодательное регулирование охраны труда в текстильной отрасли

Правовая основа охраны труда в текстильной отрасли промышленности формируется в первую очередь в соответствии с Трудовым кодексом РФ и Федеральным законом № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", действие которого распространяется на предприятия, использующие химические вещества, красители и легковоспламеняющиеся материалы [4]. Дополнительное регулирование осуществляется в соответствии с нормативными документами, такими как Приказ Минтруда России от 16.11.2020 N 780н (ред. от 29.04.2025) "Об утверждении Правил по охране труда при проведении работ в легкой промышленности", санитарными правилами СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" (с изменениями на 12 февраля 2026 года) и другими актами [5]. Эти документы акцентируют необходимость контроля параметров микроклимата, снижения запыленности, защиты от шума и вибрации, обеспечения взрыво- и пожаробезопасности, а также применения средств индивидуальной и коллективной защиты.

С 2017 года законодательство стимулирует внедрение цифровых решений – систем удаленного мониторинга, электронного документооборота, автоматизированных методов анализа профессиональных рисков.

Крупные текстильные холдинги берут на себя обязательства по обеспечению безаварийного производства и безопасных условий труда, внедряя системы менеджмента, соответствующие международным стандартам. Например, "OHSAS 18001: 2007" – стандарт из серии документов по оценке безопасности труда и охраны здоровья, который в России идентичен ГОСТ Р 54934-2012 "Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования" [4, 6].

Цифровизация системы управления охраной труда на текстильных предприятиях

Текстильная отрасль обладает значительным потенциалом для внедрения технологий Индустрии 4.0, что подтверждается концепцией "фабрик будущего" и государственными программами цифровой экономики [7, 8]. Цифровая трансформация СУОТ в отрасли охватывает несколько основных направлений с современными инструментами и методами.

Промышленный интернет вещей

В первую очередь можно отметить интернет вещей. Оснащение производственных помещений функционирующими в реальном времени датчиками позволяет непрерывно отслеживать запыленность, концентрацию вредных веществ, уровень шума, вибрации, температуру и влажность [9, 10].

Устройства интернета вещей объединяются в единую сеть, обеспечивая сбор и анализ данных, а также автоматическое реагирование на отклонения от нормативов. Например, системы климат-контроля могут регулировать приточно-вытяжную вентиляцию, а сенсоры утечки вредных веществ – информировать персонал. Датчики вибрации и температуры, установленные на прядильных и ткацких машинах, позволяют прогнозировать износ узлов и предотвращать аварийные остановки, которые могут привести к травмам [11].

Цифровые двойники и предиктивная аналитика

Цифровые двойники технологических процессов дают возможность моделировать аварийные ситуации, оценивать риски на стадии проектирования и прогнозировать износ оборудования [12, 13].

Предиктивная аналитика на основе больших данных выявляет скрытые закономерности, ведущие к инцидентам, анализируя истории микротравм, простоев и отклонений параметров среды. Служба охраны труда получает упреждающую информацию для планирования профилактических мероприятий, что существенно снижает вероятность аварий.

Искусственный интеллект и компьютерное зрение

Искусственный интеллект способен анализировать видеопотоки с камер, установленных в производственных помещениях, выявляя потенциально опасные ситуации: отсутствие защитной одежды, нахождение работника в опасной зоне, небезопасное поведение. При обнаружении таких нарушений система может автоматически уведомлять руководство или блокировать доступ на опасные участки [1].

Кроме того, нейросетевые алгоритмы применяются для автоматического обнаружения дефектов ткани на ранних стадиях, что снижает риск выпуска бракованной продукции и связанных с этим аварийных ситуаций при последующей обработке [9].

Персонализация охраны труда и носимые устройства

Использование "умных" средств индивидуальной защиты (каски со встроенными датчиками местоположения и удара, браслеты, контролирующие пульс и температуру тела) помогает отслеживать физическое состояние персонала и его перемещение в опасных зонах [1, 4].

Это особенно актуально для крупных производств с большим процентом механизации. Цифровые системы в реальном времени предупреждают работника о приближении к движущимся частям станков, позволяя оперативно предотвратить травму.

Виртуальная и дополненная реальность для обучения персонала

Данные технологии признаны одним из самых эффективных инструментов подготовки персонала к действиям в нештатных ситуациях [14]. На текстильных предприятиях тренажеры виртуальной реальности позволяют отрабатывать ситуации разлива

химикатов, возгорания, правильное выполнение операций на опасном оборудовании без риска травмирования. Исследования показывают, что нейронные реакции в виртуальной среде идентичны реакциям на реальные события, что обеспечивает качественное усвоение навыков [4].

Мобильные приложения дополненной реальности могут выводить подсказки прямо на рабочее место, напоминая о мерах безопасности и последовательности операций.

Облачные технологии и единые цифровые платформы

Централизованное хранение данных об охране труда (результаты медосмотров, протоколы обучения, журналы инструктажей, отчеты о происшествиях) в облачных сервисах обеспечивает доступ к информации всех заинтересованных сторон, упрощает контроль и формирование отчетности [1].

Интеграция данных с различными аналитическими системами позволяет создать сквозную информационную среду, в которой данные о здоровье персонала, состоянии оборудования и производственных заданиях взаимосвязаны. Это дает возможность комплексной оценки рисков и принятия обоснованных решений.

Роботизация и автоматизация опасных операций

Роботизированные системы могут выполнять наиболее травмоопасные и трудоемкие задачи, такие как работа с тяжелыми заготовками и изделиями (например, рулонами ткани), загрузка химикатов в красильные аппараты, операции на прессах и резательных машинах. Это значительно снижает риск травм для работников и повышает общую производительность [1, 13].

Внедрение автоматических раскройных комплексов с лазерным управлением минимизирует контакт человека с режущим инструментом и движущимися элементами.

Цифровизация документооборота

Переход от физических журналов к электронным документам с применением электронной подписи ускоряет согласование и повышает "прозрачность" документооборота [15]. Электронные чек-листы, базы данных инструкций и онлайн-курсы обеспечивают актуальность информации и удобство для всех участников процесса.

Практика применения цифровых технологий на текстильных предприятиях

Отечественные текстильные предприятия, в том числе входящие в инновационно-текстильные кластеры Ивановской области, постепенно внедряют элементы "умного производства" [5, 16]. Компании, применяющие системы автоматизированного производства и цифровую печать ("Смарт-Т", "Ассоль", "Веллес"), уже на этапе проектирования закладывают безопасное функционирование изделий [9].

Автоматические раскройные комплексы (Photonim Scan Pro) и роботизированные швейные системы (SoftWear Automation) снижают долю ручного труда в операциях, являющихся наиболее травмоопасными [2, 12].

На фабрике "БАСК" и других предприятиях создаются экспериментальные цеха с полностью цифровым циклом: от трехмерного проектирования одежды до автоматизированного пошива, что минимизирует контакт работников с движущимися механизмами и улучшает условия труда [6].

Актуальным примером практики применения цифровых технологий является внедрение систем мониторинга производственных процессов, представленное в работе [11]. Архитектура таких систем включает сервер мониторинга цеха, датчики на станках и клиентские приложения, которые в реальном времени собирают данные о производительности, простоях и внештатных ситуациях. Это позволяет управлять качеством продукции и оперативно реагировать на нарушения в работе оборудования, способные привести к авариям.

Крупные текстильные холдинги инвестируют в обучающие полигоны виртуальной реальности, аналогичные проекту "Умный труд" для строительной отрасли. Создаются виртуальные модели прядильных и ткацких цехов, где сотрудники без риска осваивают правила эксплуатации станков, оказания первой помощи и эвакуации. Платформа "Print-a-Porter" от "Solstudio Industry" демонстрирует возможности ин-

теграции дизайнеров, производителей и покупателей в едином цифровом пространстве, что также способствует повышению безопасности продукции [17].

Уникальное аппаратно-программное решение, тестируемое на предприятии в Ивановской области, позволяет в автоматическом режиме выявлять дефекты ткани, тем самым уменьшая необходимость визуального контроля персоналом [17].

Стоит отметить опыт внедрения цифровых двойников оборудования, реализованный на некоторых текстильных фабриках. Цифровой двойник технологической линии позволяет имитировать износ узлов, прогнозировать необходимость ремонта и исключать внезапные отказы, которые нередко становятся причинами травм [13].

Выделим также неочевидный фактор, часто не отражаемый в публикациях по СУОТ. Одним из важных элементов современного мониторинга условий труда на текстильном производстве является биологический контроль. Он особенно актуален в помещениях с повышенной влажностью, высокой запыленностью и присутствием органических веществ (отделочные, красильные, прядильные участки), где создаются предпосылки для активного развития микрофлоры. Нормативные требования предъявляются как к основным технологическим помещениям, так и к вспомогательным объектам – зонам общественного питания, санитарно-бытовым комнатам (СП 2.2.3670-20). Решение этих задач невозможно без широкого использования экспресс-методов микробиологического анализа. Высокоэффективным инструментом организации внутреннего производственного контроля и оценки микробиологической чистоты поверхностей технологического оборудования, инвентаря и рабочих зон служат готовые микробиологические тест-системы, например, продукция ООО "Биоконтроль ГР" (https://biocontrolgr.ru/tproduct/929357605492-test-plastina-gribi-drozhzhi-pleseni (дата обращения: 10.03.2026)). Они представляют собой пластиковые носители со стерильной питательной средой, селективной к определенным группам микроорганизмов (бактерии, дрожжи, плесневые грибы), и позволяют непосредственно на месте отобрать пробы, провести культивирование и количественный подсчет колониеобразующих единиц. Это дает возможность оперативно оценить микробные риски, своевременно принять корректирующие меры, предотвратить развитие биоповреждений волокон и тканей, а также гарантировать санитарно-эпидемиологическую безопасность производственной среды для персонала. Совмещение подобной практики с цифровой аналитикой позволит своевременно выявлять риски образования возможных опасных зон.

Недостатки цифровых технологий и проблематика их внедрения на предприятиях

Несмотря на очевидные преимущества, цифровизация СУОТ в текстильной отрасли сопряжена с рядом недостатков и проблем внедрения.

В первую очередь, создание и интеграция цифровых систем требуют значительных инвестиций, что особенно обременительно для малых и средних предприятий, составляющих около 82% от общего числа предприятий отрасли [2].

Внедрение сложных цифровых систем требует персонала с новыми цифровыми компетенциями, такими как умение работать с роботизированными и цифровыми системами, понимание принципов работы нейросетей и искусственного интеллекта. Система подготовки и переподготовки кадров не успевает за темпами технологических изменений [17, 18].

Изношенное оборудование многих фабрик несовместимо с современными цифровыми надстройками, что откладывает проекты "умного производства" [2, 5].

Правовые акты в сфере охраны труда и промышленной безопасности не успевают за быстрым развитием технологий. Например, не регламентируется применение дронов для инспекций или юридический статус показаний носимых устройств [4].

Рост количества подключенных устройств и объемов передаваемых данных повышает уязвимость производственных сис-

тем перед кибератаками, что требует дополнительных мер защиты информации [19].

Практика показывает, что большинство несчастных случаев связано с человеческим фактором – нарушением технологического процесса, отказом от средств защиты, недостатками в обучении [20]. Цифровые инструменты сами по себе не решат эту проблему без целенаправленного формирования культуры безопасности.

Интеграция культуры безопасности требует разработки политики непрерывного обучения персонала, внедрения системы оценки вовлеченности, а также постоянного совершенствования технологических процессов. Поэтому необходимо, чтобы цифровая трансформация СУОТ сопровождалась изменениями в управлении персоналом, мотивацией и контролем знаний [21…26].

Обсуждение результатов

Проведенный анализ подтвердил высокий потенциал цифровых технологий для кардинального повышения уровня производственной безопасности в текстильной отрасли. Результатом систематизации данных стало выявление конвергентного эффекта, возникающего при совместном применении технологий IIoT, предиктивной аналитики и интеллектуального обучения. В отличие от изолированного использования, их интеграция позволяет не просто фиксировать отклонения, а создавать адаптивные системы, предупреждающие инциденты на основе многофакторного анализа.

Синергия мониторинга и предиктивной аналитики

Оснащение производственных помещений сетями датчиков IIoT (запыленность, концентрация вредных веществ, шум, вибрация, микроклимат) в сочетании с алгоритмами предиктивной аналитики на основе больших данных позволяет выйти на качественно новый уровень управления рисками. Анализ временных рядов и скрытых корреляций, например, между повышением температуры, накоплением текстильной пыли и износом подшипниковых узлов, дает возможность прогнозировать не только аварийные остановки оборудования, но и критические изменения в состоянии производственной среды [9, 11, 27…30]. Это подтверждается опытом предприятий, тестирующих подобные системы, где отмечается переход от работы по регламенту к обслуживанию по фактическому состоянию [11, 13]. Важным дополнением к этому является интеграция в единую аналитическую среду данных биологического контроля для оперативного выявления зон с повышенной микробиологической нагрузкой, что особенно актуально для отделочных и красильных цехов.

Разрешение противоречия между стоимостью и эффективностью внедрения

Одним из основных выявленных недостатков цифровизации являются высокие стартовые инвестиции, что критично для малых и средних предприятий, составляющих до 82% отрасли [2]. Однако результаты анализа показывают, что модульный принцип построения цифровой СУОТ может снять это противоречие. В качестве пилотных, "быстроокупаемых" проектов предлагается внедрение систем компьютерного зрения на базе уже существующих камер видеонаблюдения для контроля применения СИЗ и соблюдения границ опасных зон, а также использование мобильных приложений дополненной реальности (AR) для проведения инструктажей на рабочем месте [31…37]. Оба решения не требуют глубокой модернизации оборудования, но доказали свою эффективность в повышении дисциплины и снижении числа микротравм [1]. Более того, формирование культуры безопасности, поддерживаемой цифровыми инструментами, оказывается выгоднее, чем ликвидация последствий несчастных случаев [21, 23].

Трансформация роли человеческого фактора

Критический анализ практики показывает, что технологические решения сами по себе не являются панацеей. Большинство инцидентов по-прежнему провоцируется человеческим фактором – сознательным или бессознательным нарушением правил безопасности [20]. Обсуждение этой проблемы приводит к выводу, что технологии VR/AR должны использоваться не просто для имитации технических действий, а для формирования устойчивых нейрокогнитив-

ных паттернов безопасного поведения в стрессовых и нештатных ситуациях. Эффективность VR-тренингов, как показывают исследования, обусловлена идентичностью нейронных реакций на виртуальные и реальные события [4, 14]. Таким образом, человеческий фактор превращается из основного источника риска в центральный объект протективной терапии.

Необходимость комплексной трансформации

Установлено, что внедрение самых передовых технологий, включая цифровые двойники и роботизированные системы, будет нивелировано без параллельного развития нормативно-правовой базы и системы подготовки кадров. Отставание законодательства в вопросах юридической значимости данных с носимых устройств или сертификации VR-тренажеров является тормозящим фактором [4, 18]. Следовательно, цифровая трансформация СУОТ – это триединая задача, лежащая в технической, образовательной и регуляторной плоскостях.

ВЫВОДЫ

Цифровая трансформация СУОТ является важным процессом для повышения уровня безопасности в текстильной отрасли промышленности. Использование технологий промышленного интернета вещей, искусственного интеллекта, предиктивной аналитики, виртуальной и дополненной реальности, цифровых двойников и роботизации позволяет снизить производственный травматизм, минимизировать воздействие вредных производственных факторов, повысить эффективность обучения персонала и общую культуру безопасности.

Успешная цифровизация требует комплексного подхода, включающего модернизацию производственных фондов, государственную поддержку малого и среднего бизнеса, подготовку высококвалифицированных специалистов, обновление законодательной базы, а также выстраивания системы управления, ориентированной на формирование цифровой культуры безопасности у всех участников производственного процесса. Создание такого комплекса условий позволит достичь устойчивого развития и конкурентоспособности текстильной промышленности России на глобальном рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хусниддинова А., Плотникова Л.В.* Аспекты охраны труда в России и зарубежных стран и современные методы повышения уровня охраны труда // Холодильная техника, инженерные системы и биотехнологии. Кемерово: КемГУ, 2024. С. 437…438.

2. *Каюмова Р.Ф., Девятьярова Н.Б.* Некоторые аспекты цифровизации текстильного производства // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2025. № 1(51). С. 79…86.

3. *Измайлова С.А., Тарминян А.А*. Цифровизация производственных процессов в текстильной промышленности // Вестник Московского международного университета. 2025. № 1(5). С. 49…52.

4. *Байрамшин Т.А*. Принципы и элементы охраны труда на предприятиях нефтегазовой отрасли России // International Agricultural Journal. 2021. Т. 64, № 1. С. 14.

5. *Шахова И.Ю., Онопюк 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.

6. *Тесленко И.Б., Дигилина О.Б., Савельев И.И., Селезнев П.С*. Цифровые технологии в организации текстильного производств // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4(382). С. 153…157.

7. *Ибрагимова Р.С., Головкин Д.С*. Концептуальные направления цифровой трансформации текстильной промышленности // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Экономика. 2019. № 3(41). С. 19…27.

8. *Ловкова Е.С., Кашицына Т.Н., Филимонова Н.М.* Потенциал текстильной промышленности для перехода и развития на Индустрию 4.0 // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 5…11.

9. *Ибатуллина А.Р., Красина И.В., Бронская В.В.* Аспекты применения инструментов цифровизации в текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 261…266.

10. *Журавлева О.С., Хозина Е.Н., Зиедуллоев Н.Н.* Цифровые инструменты и интеллектуальные технологии в текстильной промышленности // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы. М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2022. С. 217…222.

11. *Бабаев И.Х.* Разработка информационной системы мониторинга производственных процессов на

текстильных предприятиях // Научно-исследовательские публикации. 2024. № 2. С. 34…38.

12. *Щербакова Д.В., Мамедгулиев Р.И.* Цифровая трансформация процесса изготовления текстильной продукции легкой промышленности // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 7. С. 72…80.

13. *Артемьев В.С.* Автоматизация производственного контура текстильного предприятия через внедрение адаптивных цифровых решений // Научное сотрудничество в Евразийском пространстве: цифровизация и модернизация промышленности с применением искусственного интеллекта. Душанбе: Технол. ун-т Таджикистана, 2025. С. 342…345.

14. *Ключникова Е.А.* Цифровизация процесса обучения требований охраны труда // Новые технологии – нефтегазовому региону / отв. ред. В.А. Чейметова. В 2 т. Т. 2. Тюмень: Тюмен. индустр. ун-т, 2023. С. 70…72.

15. *Катигорох Д.О., Сеитмеметова Х.Р.* Документы по охране труда в цифровой среде // Цифровой контент социального и экосистемного развития экономики. Симферополь, 2023. С. 231…233.

16. *Ибрагимова Р.С.* Цифровая трансформация текстильной и швейной промышленности // Российский университет в неустойчивом мире: глобальные вызовы и национальные ответы. В 2 ч. Ч. 1. Иваново: ИВГУ, 2019. С. 528…534.

17. *Шереметьева Е.Н., Баринова Е.П.* Доминантные векторы развития текстильной промышленности: цифровые возможности и таланты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2(410). С. 32…37.

18. *Ползунова Н.Н.* Цифровые технологии в деятельности предприятий текстильной промышленности и эффективность их применения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 40…44.

19. *Девянина Л.Д., Бондаренко И.С.* Развитие текстильной промышленности в условиях цифровизации // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты. Брянск: БГИТУ, 2024. С. 237…241.

20. *Шкрабак В.С.* Травматизм в АПК: состояние, побудители, источники, причины и пути их устранения // Аграрный научный журнал. 2025. № 6. С. 139…144.

21. *Жмачинская Е.О., Меренкова С.П.* Разработка системы пищевой безопасности, основанной на принципах ХАССП на предприятии хлебопекарной отрасли // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2016. № 5(40). С. 97…102.

22. *Палтусов А.А., Медведев Я.В.* Развитие культуры безопасности в нефтегазодобывающей отрасли // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в вузе и школе. 2022. № 37. С. 1536…1542.

23. *Головин Н.Л.* Понятие "культура безопасности", его развитие и анализ // Педагогический журнал. 2021. Т. 11, № 4-1. С. 32…47.

24. *Беляева Ю.А.* Развитие корпоративной культуры безопасности на нефтедобывающем предприятии // Вестник науки. 2025. Т. 3, № 6(87). С. 2536…2541.

25. *Малина В.В.* Инструменты и практики развития культуры безопасности на предприятиях ТЭК: от диагностики к интеграции // Вестник науки. 2026. Т. 2, № 2(95). С. 907…911.

26. *Лыскова И.Е.* Безопасное поведение сотрудников в аспекте формирования и развития культуры производственной безопасности промышленных предприятий // Вестник Коми республиканской академии государственной службы и управления. Теория и практика управления. 2021. № 3(33). С. 55…61.

27. *Новиков О.П., Кожухарь И.И.* Применение искусственного интеллекта в задаче мониторинга ношения средств индивидуальной защиты на предприятии // Перспективы науки. 2024. № 6(177). С. 113…118.

28. *Князев В.В.* Разработка схемы интеллектуальной системы управления параметрами микроклимата // Вопросы науки. 2024. № 1. С. 47…52.

29. *Николаев А.А., Бобров Д.В., Глинчиков Д.Ю.* Интеграция управления охраной труда и экологической безопасностью на предприятии // Научный вестник Гуманитарно-социального института. 2025. № 20. С. 27.

30. *Корнюшкин Д.А., Крылов А.А.* Применение нейросетевого регулятора в системе управления приточно-вытяжной промышленной вентиляцией // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2025. Т. 21, № 2(40). С. 17…24.

31. *Валитова К.А., Федосов А.В., Валеев Р.И., Низаметдинов А.А.* Анализ проблем в работе специалиста по охране труда // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2024. № 1(25). С. 136…141.

32. *Купряева М.Н.* Особенности социального и психологического компонента в системе организации труда // Самара АгроВектор. 2025. Т. 5, № 4. С. 31…38.

33. *Косьмина С.В., Галиаскаров Э.Г.* Искусственный интеллект как инструмент подготовки профессионалов для обслуживания технических систем предприятий // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2024. № 3(61). С. 104…112.

34. *Ншот А.Ф.В., Конюхова Г.П., Бритвина В.В.* Анализ отказоустойчивости программного обеспечения в архитектуре цифрового предприятия: системный подход // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2025. Т. 21, № 3(41). С. 31…37.

35. *Байыр Д.Б., Дулесов А.С., Пупкова Е.В.* Применимость энтропии в анализе разброса данных о состоянии технической системы // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2025. Т. 21, № 2(40). С. 25…33.

36. *Фуфаева В.М., Голованов И.Ю., Щербакова И.О.* Краткий обзор роли цифровых технологий в совершенствовании системы охраны труда на промышленных предприятиях // Инновационные технологии в машиностроении. Томск: ТПУ, 2026. С. 161…163.

37. *Ульянова В.А., Даянова Д.Д., Голованов И.Ю., Стрельникова В.О.* Современные технологии в системе управления охраной труда предприятий России // Молодежь, наука, инновации. Грозный: ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2025. С. 187…191.

R E F E R E N C E S

1. *Khusniddinova A., Plotnikova L.V.* Aspects of labor protection in Russia and foreign countries and modern methods for increasing the level of labor protection // Refrigeration equipment, engineering systems and biotechnology. Kemerovo: Kemerovo State University. 2024. P. 437…438.

2. *Kayumova R.F., Devyatyarova N.B.* Some aspects of digitalization of textile production // Bulletin of UGNTU. Science, education, economics. Series: Economics. 2025. No. 1(51). P. 79…86.

3. *Izmailova S.A., Tarminyan A.A.* Digitalization of production processes in the textile industry // Bulletin of Moscow International University. 2025. No. 1(5). P. 49…52.

4. *Bayramshin T.A.* Principles and Elements of Labor Protection at Enterprises of the Oil and Gas Industry of Russia // International Agricultural Journal. 2021. Vol. 64, No. 1. P. 14.

5. *Shakhova I.Yu., Onopyuk E.Yu., Speransky S.N., Lodoin U.* Issues of the textile industrydigitalization: regional aspect // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 2(404). P. 23…29.

6. *Teslenko I.B., Digilina O.B., Savelyev I.I., Seleznev P.S.* Digital technologies in the organization of textile production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. No. 4(382). P. 153…157.

7. *Ibragimova R.S., Golovkin D.S.* Conceptual directions of digital transformation of the textile industry // Bulletin of Ivanovo State University. Series: Economics. 2019. No. 3(41). P. 19…27.

8. *Lovkova E.S., Kashitsyna T.N., Filimonova N.M.* The potential of the textile industry for transition and development to Industry 4.0 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2(398). P. 5…11.

9. *Ibatullina A.R., Krasina I.V., Bronskaya V.V.* Aspects of applying digitalization tools in the textile and light industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2(398). P. 261…266.

10. *Zhuravleva O.S., Khozina E.N., Ziyodulloev N.N.* Digital tools and intelligent technologies in the textile industry // Fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technologies: experience, practice and prospects. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin, 2022. P. 217…222.

11. *Babaev I.Kh.* Development of an information system for monitoring production processes at textile enterprises // Research publications. 2024. No. 2. P. 34…38.

12. *Shcherbakova D.V., Mammadguliev R.I.* Digital transformation of the process of manufacturing textile products of light industry // Modern science-intensive technologies. 2024. No. 7. P. 72…80.

13. *Artemyev V.S.* Automation of the production circuit of a textile enterprise through the introduction of adaptive digital solutions // Scientific cooperation in the Eurasian space: digitalization and modernization of industry using artificial intelligence. Dushanbe: Technological University of Tajikistan. 2025. P. 342…345.

14. *Klyuchnikova E.A.* Digitalization of the training process for labor protection requirements // New technologies for the oil and gas region / rev. editor V.A. Cheymetova. In 2 vol. Vol. 2. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2023. P. 70…72.

15. *Katigorokh D.O., Seitmemetova H.R.* Documents on labor protection in the digital environment // Digital content of social and ecosystem development of the economy. Simferopol, 2023. P. 231…233.

16. *Ibragimova R.S.* Digital transformation of the textile and clothing industry // Russian University in an unstable world: global challenges and national responses. In 2 parts. Part 1. Ivanovo: Ivanovo State University, 2019. P. 528…534.

17. *Sheremetyeva E.N., Barinova E.P.* Dominant vectors of textile industry development: digital opportunities and talents // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 2(410). P. 32…37.

18. *Polzunova N.N.* Digital technologies in the activities of the textile enterprises and the efficiency of their application // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 1(403). P. 40…44.

19. *Devyanina L.D., Bondarenko I.S.* Development of the textile industry in the context of digitalization // Digital region: experience, competencies, projects. Bryansk: Bryansk State Engineering and Technology University, 2024. P. 237…241.

20. *Shkrabak V.S.* Injuries in the agro-industrial complex: condition, stimuli, sources, causes and ways to eliminate them // Agrarian scientific journal. 2025. No. 6. P. 139…144.

21. *Zhmachinskaya E.O., Merenkova S.P.* Development of a food safety system based on the principles of HACCP at the bakery industry // Technology and commodity science of innovative food products. 2016. No. 5(40). P. 97…102.

22. *Paltusov A.A., Medvedev Y.V.* Development of a safety culture in the oil and gas industry // Modern problems of linguistics and methods of teaching the Russian language at universities and schools. 2022. No. 37. P. 1536…1542.

23. *Golovin N.L.* The concept of "safety culture," its development and analysis // Pedagogical Journal. 2021. Vol. 11, No. 4-1. P. 32…47.

24. *Yu.A. Belyaeva*. Development of Corporate Safety Culture at the Oil Producing Enterprise // Science Bulletin. 2025. Vol. 3, No. 6 (87). P. 2536…2541.

25. *Malina V.V.* Tools and practices for the development of a safety culture at fuel and energy enterprises:

from diagnosis to integration // Bulletin of Science. 2026. Vol. 2, No. 2 (95). P. 907…911.

26. *Lyskova I.E.* Safe behavior of employees in terms of the formation and development of a culture of industrial safety of industrial enterprises // Bulletin of the Komi Republican Academy of Public Administration and Management. Management theory and practice. 2021. No. 3(33). P. 55…61.

27. *Novikov O.P., Kozhukhar I.I.* Application of artificial intelligence in the task of monitoring the wearing of personal protective equipment at an enterprise // Perspectives of science. 2024. No. 6(177). P. 113...118.

28. *Knyazev V.V.* Development of a scheme for an intelligent control system for micro-climate parameters // Voprosy nauki. 2024. No. 1. P. 47...52.

29. *Nikolaev A.A., Bobrov D.V., Glinchikov D.Yu.* Integration of occupational safety and environmental safety management at the enterprise // Scientific Bulletin of the Humanitarian and Social Institute. 2025. No. 20. P. 27.

30. *Kornyushkin D.A., Krylov A.A.* Application of a neural network regulator in the control system of supply and exhaust industrial ventilation // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. 2025. Vol. 21, No. 2(40). P. 17...24.

31. *Valitova K.A., Fedosov A.V., Valeev R.I., Nizametdinov A.A.* Analysis of problems in the work of an occupational safety specialist // Bulletin of the young scientist of USNTU. 2024. No. 1(25). P. 136...141.

32. *Kupryaeva M.N.* Features of the social and psychological component in the labor organization system // Samara AgroVector. 2025. Vol. 5, No. 4. P. 31...38.

33. *Kosmina S.V., Galiaskarov E.G.* Artificial intelligence as a tool for training professionals for maintenance of technical systems of enterprises // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Seriya: E`konomika, finansy` i upravlenie proizvodstvom. 2024. No. 3(61). P. 104...112.

34. *Nshot A.F.V., Konyukhova G.P., Britvina V.V.* Fault tolerance analysis of software in the architecture of a digital enterprise: a systematic approach // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. 2025. Vol. 21, No. 3(41). P. 31...37.

35. *Bayyr D.B., Dulesov A.S., Pupkova E.V.* The applicability of entropy in the analysis of the spread of data on the state of the technical system // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. 2025. Vol. 21, No. 2(40). P. 25...33.

36. *Fufaeva V.M., Golovanov I.Yu., Shcherbakova I.O.* A brief overview of the role of digital technologies in improving the labor protection system at industrial enterprises // Innovative technologies in mechanical engineering. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2026. P. 161...163.

37. *Ulyanova V.A., Dayanova D.D., Golovanov I.Yu., Strelnikova V.O.* Modern technologies in the occupational safety management system of Russian enterprises // Youth, science, innovations. Grozny: Grozny State Oil Technical University named after M.D. Millionshchikov. 2025. P. 187...191.

Рекомендована кафедрой аппаратурного оформления и автоматизации технологических производств имени проф. М.Б. Генералова Московского политехнического университета. Поступила 07.05.26.

УДК 677.047.65
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_32

ПРИМЕНЕНИЕ КАПСУЛИРОВАННЫХ ФОРМ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ*

THE USE OF ENCAPSULATED FORMS OF NATURAL COMPOUNDS TO IMPART THERMOREGULATING CAPABILITY TO TEXTILE MATERIALS

А.Ф. АЛЁХИНА, К.А. ЕРЗУНОВ, А.А. МАЛЫГИНА, О.П. СМИРНОВА, О.И. ОДИНЦОВА

A.F. ALYOKHINA, K.A. ERZUNOV, A.A. MALYGINA, O.P. SMIRNOVA, O.I. ODINTSOVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: anast.aleohina2016@yandex.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

Несмотря на востребованность текстильных материалов и изделий с высокой терморегулирующей способностью, существующие технологии не предоставляют решений, обеспечивающих эффективную адаптацию данных материалов к изменяемым климатическим условиям и экстремальным температурам. Наибольший интерес для получения таких материалов представляют вещества с фазовым переходом (ВФП), характеризующиеся способностью накапливать тепловую энергию при плавлении, а при кристаллизации – отдавать тепло в окружающую среду. Применение технологии микрокапсулирования, широко используемой в фармацевтической и косметической отраслях промышленности, открывает возможность получения ВФП в капсулированной форме. В статье рассмотрены различные подходы к микрокапсулированию природных ВФП, включая пчелиный воск, парафин, растительные масла, такие как кокосовое и пальмовое, масло Ши (каритэ), жирные кислоты. Обоснованы преимущества применения органических ВФП по сравнению с неорганическими (гидратированные соли, наночастицы оксидов металлов). Систематизированы термофизические характеристики природных веществ с фазовым переходом, установлена зависимость между химической структурой, составом соединений и их температурами плавления/кристаллизации. Рассмотрены технологии получения микрокапсул методами межфазной полимеризации и коацервации с использованием оболочкоформирующих компонентов меламина, формальдегида, полиуретана, обеспечивающих защиту ядра от внешних физико-химических воздействий в процессе эксплуатации и долговременное проявление терморегулирующих свойств. Текстильные материалы, модифицированные веществами с фазовым переходом в капсулированной форме, приобретают свойства «умных» систем, обладающих способностью быстрой адаптации к изменяющимся климатическим условиям. Особую научно-практическую значимость разработка подобных материалов приобретает в контексте создания эргономичной одежды специального назначения, например, для силовых структур, медицинского персонала, одежды для работников арктических станций, где необходимо поддержание оптимального теплового баланса организма человека.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Ивановской области (Соглашение № 1-РНФ от 30 мая 2025 о предоставлении из бюджета Ивановской области грантов в форме субсидии в целях финансового обеспечения реализации научных проектов по приоритетным направлениям деятельности Российского научного фонда).

Despite the demand for the creation of textile materials and products with high temperature-regulating capacity, existing technologies do not provide solutions that ensure effective adaptation to changing climatic conditions and extreme temperatures. Of greatest interest for The production of such materials as phase-change substances (PCS), which are characterized by the ability to accumulate thermal energy during melting and release heat to the environment during crystallization, are of great interest. The use of microcapsulation technology, which is widely used in the pharmaceutical and cosmetic industries, opens up the possibility of obtaining PCS in encapsulated form. The article discusses various approaches to microcapsulating of natural PCS, including beeswax, paraffin, vegetable oils such as coconut and palm oils, shea butter, and fatty acids. The advantages of using organic PCS in comparison with inorganic ones (hydrated salts, metal oxide nanoparticles) are substantiated. The thermophysical properties of natural phase-change substances are systematized, and the relationship between the chemical structure, composition, and melting/crystallization temperatures of the compounds is established. Technologies for the production of microcapsules by interphase polymerization and coacervation using shell-forming components melamine, formaldehyde, and polyurethane, which protect the core from external physico-chemical influences during operation and long-term thermoregulatory properties, are considered. Textile materials modified with phase-change substances in encapsulated form acquire the properties of "smart" systems capable of rapidly adapting to changing climatic conditions. The development of such materials is of particular scientific and practical significance in the context of creating ergonomic clothing for special purposes, for example, for law enforcement agencies, medical personnel, and workers at Arctic stations, where maintaining optimal thermal balance is essential.

Ключевые слова: микрокапсулирование, капсула, терморегулирующие свойства, вещества с фазовым переходом, текстильный материал.

Keywords: microencapsulation, capsule, thermoregulatory properties, phase-change substances, textile material.

Введение

Получение текстильных материалов и изделий, способных эффективно обеспечивать защиту организма человека в экстремальных климатических условиях, становится актуальной задачей легкой промышленности. Большинство существующих технологических решений лишь частично отвечает комплексным требованиям поставленной задачи. Инновационные материалы, такие как мембранные и тканевые композиты, интегрированные с утеплителями, а также изделия, включающие сложнофункциональную электронику, не обеспечивают эффективной адаптации к динамически изменяющимся температурным условиям. Кроме того, их высокая рыночная стоимость является существенным барьером для потребителей [1].

Наибольший интерес представляют материалы, содержащие вещества с фазовым переходом (ВФП), характеризующиеся способностью накапливать и выделять тепловую энергию в процессах плавления и кристаллизации. Для ВФП типа "твердое тело-жидкость" свойственны понятия "явное" тепло и "скрытая" теплота. "Явное" тепло – энергия, которая увеличивает кинетическую энергию молекул вещества без изменения его агрегатного состояния. Количество "явного" тепла, которое может поглотить вещество, определяется его удельной теплоемкостью (Ср) и химической структурой. "Скрытая" теплота – энергия, поглоща-

емая или высвобождаемая при фазовом переходе в условиях постоянной температуры. При плавлении данный вид энергии способствует разрыву или ослаблению межмолекулярных связей в соединении, молекулы приобретают большую свободу перемещения относительно друг друга, но при этом их кинетическая энергия не меняется. В этом случае кристаллическая решетка значительно изменяется или разрушается. При кристаллизации процесс идет в обратном направлении: происходит высвобождение энергии при образовании упорядоченной структуры и восстановлении межмолекулярных связей [2].

ВФП представляют собой широкий класс соединений как органического, так и неорганического происхождения. Вариативность температурных интервалов фазовых переходов рассматриваемых соединений предоставляет большой выбор потенциальных модификаторов для получения функциональных текстильных материалов. Перечисленные свойства таких модификаторов позволяют получать ТМ с высокой скоростью адаптивности к изменениям температуры окружающей среды. Материалы, содержащие ВФП, способны активно поддерживать оптимальный тепловой баланс организма человека в экстремальных условиях эксплуатации, что особенно актуально для регионов с критически низкими температурами (например, для Арктики) и рабочей среды с высокими тепловыми потоками, горячими производственными циклами [3, 4].

Использование ВФП в чистом виде для придания терморегулирующих свойств ТМ сопряжено с низкой способностью их закрепления вследствие слабой межфазной адгезии в системе "ВФП/волокнообразующий полимер". В этом случае не происходит образования прочных химических связей между веществом и активными группами волокна, что может приводить к миграции ВФП в циклах плавления/кристаллизации с поверхности текстильного материала, особенно в процессах эксплуатации. Существующие методики технологии микрокапсулирования, активно применяющиеся в фармацевтической и пищевой отраслях промышленности, приобретают актуальное значение в контексте стабилизации фазопереходных соединений. Суть технологии состоит в получении ВФП, заключенных в специальную защитную оболочку, обеспечивающую минимизацию их миграции с текстильного волокна и формирующую контролируемое накопление/высвобождение тепловой энергии [5,6].

Капсулы, содержащие ВФП в качестве ядра и прочную оболочку, демонстрируют высокую совместимость с процессами заключительной отделки текстильных материалов. Фиксация микрокапсул может осуществляться различными методами: посредством трафаретной или ротационной печати, с применением текстильно-вспомогательных препаратов (закрепителей) синтетического или природного происхождения, а также с использованием физико-химических модификаций поверхности – плазменной активации, фотоинициируемого отверждения или химического графтинга с применением полифункциональных органических кислот (например, лимонной) в качестве сшивающих агентов [7, 8].

Функциональные текстильные материалы и изделия с терморегулирующими свойствами приобрели важнейшее значение в современном обществе. Научные исследования и разработки в данной области сосредоточены на получении материалов, удовлетворяющих физиологической потребности человека в поддержании постоянства температуры организма и теплового комфорта [9].

Природные органические ВФП

Микрокапсулирование органических ВФП, в особенности соединений природного происхождения – растительных масел, жирных кислот и их эфиров, масел животного происхождения, восков, представляет собой перспективное решение в технологии получения текстильных материалов с повышенной терморегулирующей способностью. По сравнению с неорганическими веществами, например, гидратированными солями [10, 11], наночастицами металлов или их оксидами, органические ВФП харак-

теризуются высокой химической стабильностью, инертностью к большинству соединений, они экологически безопасны, не снижают прочностных характеристик исходных ТМ, способны выдерживать тысячи циклов плавления/кристаллизации, сохраняя свои свойства. Ключевым недостатком гидратированных солей, активно применяемых в качестве терморегулирующих агентов при производстве сложной электроники, является неконгруэнтность фазового перехода. В этом случае при плавлении возможно изменение химического состава жидкой фазы относительно исходного твердого тела, а при кристаллизации возможно нарушение однородности структуры вещества [12, 13].

Таким образом, использование органических ВФП природного происхождения в качестве терморегулирующих модификаторов для текстильных материалов представляется целесообразным ввиду их высокой термоаккумулирующей способности в диапазоне температур, релевантном для обеспечения теплового комфорта организма человека, химической совместимости с большинством видов текстильных волокон, а также экологической безопасности и возобновляемости сырьевой базы [14,15]. Термофизические характеристики некоторых природных органических ВФП представлены в табл. 1.

Таблица 1

ВФП	Химическая природа	Средняя температура плавления, °С	Удельная теплота плавления, Дж/г	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(г·К)	Источник литературы
Каприновая кислота	жирная кислота (C_{10})	32	158	0,15	890	[10]
Лауриновая кислота	жирная кислота (C_{12})	44	178	0,16	880	[10]
Миристиновая кислота	жирная кислота (C_{14})	54	189	0,16	860	[11]
Пальмитиновая кислота	жирная кислота (C_{16})	63	202	0,17	850	[11]
Стеариновая кислота	жирная кислота (C_{18})	70	210	0,17	847	[11]
Кокосовое масло	триглицериды (смесь)	24–26	105–115	0,17	910	[10]
Пальмовое масло	триглицериды (смесь)	35–40	95–105	0,17	900	[10]
Пчелиный воск	сложные эфиры жирных кислот	62–65	170–180	0,25	960	[12]
Карнаубский воск	сложные эфиры жирных кислот	82–86	140–150	0,20	998	[13]

Показано, что термофизические характеристики жирных кислот коррелируют с длиной углеродной цепи. В гомологическом ряду насыщенных жирных кислот (С10–С18) увеличение молекулярной массы усиливает проявление сил Ван-дер-Ваальса. Такая особенность жирных кислот способствуют повышению температуры плавления с 32 °С до 70 °С, при этом наблюдается и повышение значений удельной теплоты фазового перехода – с 158 до 210 Дж/г. В отличие от свободных жирных кислот, смеси триглицеридов растительных масел (кокосовое, пальмовое) характеризуются более широким температурным интервалом плавления вследствие гетерогенности жирнокислотного состава и разветвленной структуры, что может снижать эффективность молекулярной упаковки в кристаллической решетке. Пчелиный и карнаубский воски, представляющие собой сложные эфиры длинноцепочечных жирных кислот и высших спиртов, обладают повышенной температурой плавления (62…86 °С) и теплопроводностью (до 0,25 Вт/(м·К)) благодаря плотной упорядоченной структуре и

высокой степени кристалличности, обеспечивающей плотное межмолекулярное взаимодействие [16…20].

В отличие от гидратов солей и нанооксидов металлов, микрокапсулированные природные ВФП демонстрируют сохранение более 95 % исходной теплоемкости после 5000 циклов плавления/кристаллизации, что подтверждает их пригодность для получения текстильных материалов с долговременным терморегулирующим эффектом, быстро адаптирующихся к резко изменяемым температурным режимам окружающей среды [19, 20].

Микрокапсулирование жирных кислот

На основании литературных данных капсулирование жирных кислот с длинной углеродной цепочкой, таких как лауриновая, каприновая, каприловая, стеариновая кислоты, проводят, как правило, методами межфазной полимеризации, коацервации или золь-гель синтеза. Гидрофобное ядро капсулы, включающее жирную кислоту, заключают в полимерную прочную оболочку, синтез которой осуществляется на основе предконденсатов термореактивных смол и других соединений, способных образовывать прочные химические сшивки друг с другом. Получают оболочки, представляющие прочно сшитую систему на основе меламина и формальдегида, полиуретана, кремнийорганических кислот [21…23].

Формируемая оболочка является непроницаемой, что обеспечивает предотвращение выхода ВФП из ядра капсулы и защиту от внешних физико-химических воздействий при закреплении капсул на текстильном материале, особенно при мокрых и механических обработках [24…26]. Фазовый переход жирных кислот происходит в температурном диапазоне, близком к оптимальной температуре микроклимата организма человека. Исследования демонстрируют, что текстиль, содержащий 15…30 мас.% микрокапсулированных жирных кислот, способен снижать температуру на 2…4 °С при тепловой нагрузке и продлевать период термического комфорта на 20…40 % по сравнению с немодифицированным ТМ. При этом ключевым фактором эффективности является не только удельная теплота фазового перехода ядра, но и морфология оболочки: прочные сшивки между оболочкоформирующими агентами обеспечивают повышенную циклическую стабильность ВФП – сохранение более 90 % исходной теплоемкости после 1000 циклов фазового перехода. Широкий диапазон температур плавления/кристаллизации жирных кислот с различными по длине углеродными цепочками делает данный класс органических соединений в капсулированной форме эффективным терморегулирующим модификатором для текстильных материалов, пригодных как для комфортного повседневного использования, так и для защиты организма человека в условиях экстремальных температур [27, 28].

Микрокапсулирование растительных масел как ВФП

Перспективным направлением в области создания текстильных материалов с повышенной терморегулирующей способностью является разработка композиций на основе микрокапсулированных масел растительного происхождения. Особый интерес представляют такие биовозобновляемые и экологически безопасные источники, как кокосовое масло, масло Ши (каритэ), рапсовое, пальмовое масла [29…32]. Термофизические характеристики растительных масел напрямую обусловлены гетерогенным составом, включающим различные жирные кислоты, их эфиры и триглицериды, что делает их потенциально эффективными агентами для аккумулирования тепловой энергии (удельная теплота фазового перехода в среднем составляет 95…150 Дж/г).

Кокосовое масло, содержащее преимущественно лауриновую кислоту (46…48%), имеет температуру плавления 21…24°С. Удельная теплота фазового перехода в среднем составляет 107,5 Дж/г. Совокупность термофизических характеристик кокосового масла как ВФП, включая удельную теплоту плавления, температуру фазового превращения, конгруэнтное плавление, детерминирует его высокую эффективность в качестве функционального модификатора тканей с терморегулирующими свойствами, адаптированными к условиям повседневной эксплуатации.

Известно, что микрокапсулирование кокосового масла в оболочку на основе меламина/формальдегида по методу полимеризации "in situ" позволяет получать системы с удельной теплотой плавления 72,9 Дж/г при температуре 22,8 °С. Установлено, что иммобилизированные микрокапсулы с кокосовым маслом в качестве ядра на хлопковой ткани работают как "мини-термобуфер": они поглощают избыточное тепло (до 14,9 Дж/г), замедляя нагрев поверхности обработанной ткани на 2…3 °С по сравнению с необработанным образцом. При нанесении микрокапсулированного кокосового масла на нетканые материалы медицинского назначения удалось получить композитные материалы с теплотой фазового перехода 8,4…11,4 Дж/г [33, 34].

Масло Ши (каритэ), характеризующееся широким интервалом фазового перехода (31,25…40,2 °С) и удельной теплотой плавления 50,34 Дж/г, перспективно для получения текстильных изделий специального назначения. Авторы сообщают о капсулировании масла Ши в оболочку, содержащую наночастицы алюминия. Установлено, что масло Ши в капсулированной форме выдерживает множество циклов плавления/кристаллизации, степень преобразования тепловой энергии составляет 63…68,5% и находится в зависимости от скорости циркуляции теплоносителя. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) определены характеристики: температура начала плавления 31,25 °С, пик при 37,5 °С, окончание при 40,2 °С, удельная теплота плавления 50,34 Дж/г. При этом кинетика фазового превращения "твердое тело-жидкость" характеризуется временным интервалом полного плавления 70…110 минут [35].

Известно о получении волокон с микрокапсулированным маслом Ши на стадии коаксиального электропрядения. ДСК анализ капсул показал удельную теплоту плавления 42,73 Дж/г и теплопроводность 1,407 Вт/(м·К). При испытаниях с участием 6 человек в условиях высокой температуры (33 °С) и влажности (70%) показано, что использование волокон с капсулированным маслом Ши снижает среднюю температуру кожи на 0,5 °С по сравнению с контрольным образцом без ВФП, что подтверждает эффективность таких систем для получения терморегулирующей защитной одежды [36].

Пальмовое масло, содержащее смесь насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, демонстрирует температуру плавления 3,29…33,82 °С и удельную теплоту фазового перехода 13,68…74,35 Дж/г. Описана технология получения микрокапсул, содержащих в ядре пальмовое масло, в прочной оболочке, синтезированной на основе меламина и формальдегида. Для формирования капсул предложен метод полимеризации "in situ" в прямой эмульсии ("масло-в-воде"). Установлено, что оптимальные параметры процесса (температура 50°С, время гомогенизации 30 мин, время микрокапсулирования 3 ч) позволяют получать капсулы диаметром 20…220 мкм с выходом продукта до 82 % [37].

Отмечено, что добавление наночастиц графита повышает теплопроводность пальмового масла с 0,20 до 0,86 Вт/(м·К), что перспективно для создания текстильных материалов с улучшенным теплоотводом [38].

Таким образом, многокомпонентный состав растительных масел обеспечивает более широкий температурный диапазон фазового перехода, что способствует сглаживанию температурных пиков при нагревании поверхности ТМ. Данная стратегия функционализации текстиля с использованием растительных масел в капсулированной форме сочетает высокую энергоемкость и технологичность масштабирования с принципами зеленой химии, соответствуя целям снижения экологической нагрузки.

Микрокапсулирование природных восков

Предложена технология микрокапсулирования пчелиного воска (Тпл = 62…64 °С, ΔНпл = 175 Дж/г) в прочную оболочку, синтезируемую за счет взаимодействия по реакции полимеризации меламина и формальдегида [39]. В результате синтеза получены капсулы сферической формы диаметром 15…85 мкм. Рассчитана степень эффективности капсулирования пчелиного воска, которая составила до 78,3 %, при этом удельная теплота плавления пчелиного воска в ядре капсулы не принимала

значений ниже 137 Дж/г. Оценены терморегулирующие свойства обработанного текстильного материала. В этом случае иммобилизированные капсулы выдержали более 1000 циклов нагревания и охлаждения, сохраняя свои свойства и структуру.

Не менее актуальны разработки, посвященные применению экологически безопасных веществ для получения оболочек капсул. Предложено применение пчелиного воска в качестве ВФП [40]. Оболочку капсул получали методом "самоосаждения" с использованием карбоната кальция ($CaCO_3$). Проведен анализ текстильного образца с нанесенными капсулами, содержащими пчелиный воск (удельная теплота плавления 121,4 Дж/г, температура фазового перехода 56,5…58,3 °С). Эффективность капсулирования пчелиного воска, рассчитанная как отношение фактического содержания вещества в ядре микрокапсул к его теоретически ожидаемой массе, составила 88,9 %. Неорганическая оболочка обеспечивает повышенную теплопроводность (0,35 Вт/(м·К)) и механическую прочность. Данные характеристики делают применение таких частиц перспективным для получения теплоаккумулирующих строительных материалов и для создания технического защитного текстиля с терморегулирующей способностью [40].

Систематизированы данные о применении природных восков, включая карнаубский (Тпл = 82…86 °С, ΔНпл = 140…150 Дж/г), в качестве веществ с фазовым переходом для модификации текстильных изделий [41]. Отмечено, что высокая температура плавления карнаубского воска дает возможность применения капсул на его основе для получения одежды специального назначения, предназначенной для эксплуатации в условиях высокотемпературных производственных сред.

Исследована возможность микрокапсулирования н-докозана (природный парафин, $C_{22}H_{46}$, Тпл = 44 °С, ΔНпл = 252 Дж/г) в оболочку из полиметилметакрилата методом эмульсионной полимеризации [42]. В результате получены частицы, характеризующиеся правильной сферической формой, средний размер которых составил 1…10 мкм. Рассчитанная степень эффективности капсуляции составила 74,5 %, а удельная теплота плавления 188 Дж/г. Хлопковая ткань с нанесенными микрокапсулами (30 % от массы текстильного образца) демонстрировала снижение максимальной температуры нагрева поверхности на 3,2°С при тепловом воздействии, что подтверждает эффективность данного подхода к созданию терморегулирующего текстиля [42].

Сравнительный анализ термофизических характеристик природных восков (пчелиный, карнаубский, кокосовый) и растительных масел как материалов с фазовым переходом показал, что воски характеризуются более высокой температурой плавления и плотностью упаковки молекул. Это обеспечивает повышенную удельную теплоту перехода и циклическую стабильность по сравнению с триглицеридами и маслами растительной природы. Отмечена перспективность комбинирования восков с теплопроводными наполнителями (графит, углеродные нанотрубки) для повышения степени поглощения тепловой энергии при плавлении [43].

Для текстильных материалов, применяемых при пошиве одежды повседневного назначения, терморегулирующие свойства которой должны проявляться в зоне физиологического комфорта человека (25…35°С), технологически выгодно использование следующих ВФП: кокосового масла, парафинов линейной цепи (С16–С18). В противоположность этому, спецодежда и технический текстиль, предназначенные для работы в условиях экстремальных тепловых нагрузок, требуют применения высокоплавких восков (пчелиный, карнаубский: Тпл.сред. 55…85°С), способных аккумулировать значительные тепловые потоки без преждевременной активации процесса фазового перехода. Если температура плавления ядра микрокапсул соответствует условиям эксплуатации, то ткань эффективнее аккумулирует тепло, стабильнее поддерживает тепловой комфорт микроклимата организма человека и дольше сохраняет терморегулирующие свойства, что является фундаментом для разработки нового поколения "умных" текстильных материалов, свойства

которых можно "настраивать" под конкретные климатические условия или вид физической активности человека.

Микрокапсулирование масел животного происхождения

Систематизированы сведения о широком спектре материалов, содержащих вещества с фазовым переходом, в том числе животные жиры (говяжий жир, свиное сало). Приведены их термофизические характеристики: температура плавления 30…45°С, удельная теплота фазового перехода 60…100 Дж/г. Описанные принципы капсулирования могут быть экстраполированы на барсучий жир благодаря схожей триглицеридной природе [44].

Исследование [45] посвящено микрокапсулированию гидрофобных активных компонентов с использованием ланолина в качестве со-эмульгатора и структурообразующего компонента оболочки. Установлено, что ланолин, представляющий собой смесь сложных эфиров высших жирных кислот и спиртов, способствует формированию стабильных эмульсий "масло-вода" и повышает механическую прочность полимерных оболочек. Описанный подход к капсулированию ланолина может быть адаптирован для создания терморегулирующих текстильных материалов, где ланолин может выполнять двойную функцию: ВФП ядра капсулы (Тпл ≈ 38…42 °С) и агента, способствующего повышению адгезии капсул с волокнообразующими полимерами [45].

ВЫВОДЫ

Проведен системный анализ научных данных и экспериментальных результатов, подтверждающий эффективность применения природных органических ВФП в капсулированной форме для придания текстильным материалам терморегулирующей способности. Предложенные подходы к подбору технологии капсулирования, оболочкоформирующих агентов для получения капсул на основе натуральных ВФП создают научную основу для масштабирования технологии терморегулирующей отделки текстильных материалов в промышленном секторе. Иммобилизация капсул, содержащих ВФП, способствует повышению потребительских свойств текстильных материалов и изделий, снижению энергозатрат на поддержание теплового комфорта организма человека. Обеспечение конкурентоспособности "умных" терморегулирующих текстильных материалов с нанесенными микрокапсулами на основе ВФП достигается посредством комплексного проектирования, включающего физико-механические характеристики обрабатываемого материала, выбор ВФП и оболочкоформирующих агентов, с учетом назначения готового изделия из обработанной ткани и температурных условий окружающей среды. Данный подход позволит получить материалы, быстро адаптирующиеся к изменяемым температурам, обеспечит долговременное проявление терморегулирующих свойств в процессе эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И.* Технологии придания терморегулирующих свойств текстильным материалам // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. №.4 (412). С. 29…41.
2. *Shchukina E.M., Graham M., Zheng Z., Shchukin D.G.* Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems // Chemical Society Reviews. 2018, V. 47. N. 11. P. 4156…4175.
3. *Haule L.V., Nambela L.* Sustainable application of nanomaterial for finishing of textile material // Green nanomaterials for industrial applications. 2022. P. 177…206.
4. *Su Y., Zhao X., Han Y.* Phase change microcapsule composite material with intelligent thermoregulation function for infrared camouflage // Polymers. – 2023, V. 15. N. 14. P. 3055.
5. *Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В.* Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4(376). С. 85…89.
6. *Липина А.А., Петрова Л.С., Одинцова О.И.* Микрокапсулирование активных фрагментов биополимеров, содержащих дипептиды Tyr-Pro-гидрохлорид // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2022. Т. 65. № 6. С. 97…104.
7. *Алехина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Петрова Л.С.* Прогрессивные технологии иммобилизации микрокапсулированных веществ с фазовым переходом для получения функциональных текс-

тильных материалов // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. № 4. С. 5…12.

8. *Khlissa F., Mhadhbi M., Aich W. etc.* Recent advances in nanoencapsulated and nano-enhanced phase-change materials for thermal energy storage: a review // Processes. 2023. V. 11. N. 11. P. 3219.

9. *Kazaz O., Karimi N., Kumar S., Falcone G.* Heat transfer characteristics of fluids containing paraffin core-metallic shell nanoencapsulated phase change materials for advanced thermal energy conversion and storage applications // Journal of Molecular Liquids. 2023. V. 385. P. 122385.

10. *Wang C., Liu P., Cheng X. etc.* Preparation and thermal properties of a new hydrated salt phase change material without phase separation // Materialia. 2025. V. 42. P. 102462.

11. *Dong X., Mao J., Geng S. etc.* Microencapsulation of sodium sulfate decahydrate composite phase-change energy storage materials // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. V. 147. N.14. P. 7709…7718.

12. *Yang K., Venkataraman M., Zhang X., Wiener J.* Incorporation of organic PCMs into textiles // Journal of Materials Science. 2022. V. 57. N. 2. P. 798…847.

13. *Liu H., Shen H., Zhang H., Wang X.* Development of photoluminescence phase-change microcapsules for comfort thermal regulation and fluorescent recognition applications in advanced textiles // Journal of Energy Storage. 2022. V. 49. P. 104158.

14. *Huang Q., Zhang Z.* Microencapsulation of L-carvone and hexyl salicylate in carnauba wax, candelilla wax and beeswax by melt dispersion method // Polymer Testing. 2025. V. 143. P. 108728.

15. *Amberkar T., Mahanwar P.* Microencapsulation study of bioderived phase change material beeswax with ethyl cellulose shell for thermal energy storage applications // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2023. V. 45. N. 4. P. 11803…11818.

16. *Liu H., Shen H., Zhang H., Wang X.* Development of photoluminescence phase-change microcapsules for comfort thermal regulation and fluorescent recognition applications in advanced textiles // Journal of Energy Storage. 2022. V. 49. P. 104158.

17. *Rahaman M.S., Khan M.A., Hossain M.M., Islam M.R.* Eco-innovation in organic phase change materials for thermoregulatory textiles: sources, applications, fabrications, and future prospects towards sustainability // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024. V. 12. N. 3. P. 112456.

18. *El Majd A., Mankel C., Caggiano A., Koenders E.* Experimental study of thermal characteristics of bio-based textiles with microencapsulated phase change materials for thermal energy storage // Energy and Buildings. 2023. V. 295. P. 113289.

19. *Tang K.H.D., Liu Y., Hu J.* Advances in Thermoregulating Textiles: Materials, Mechanisms, and Applications // Fibers and Polymers. 2025. V. 26. N. 2. P. 22.

20. *Khlissa F., Mhadhbi M., Aich W. etc.* Recent advances in nanoencapsulated and nano-enhanced phase-change materials for thermal energy storage: a review // Processes. 2023. V. 11. N. 11. P. 3219.

21. *Ghaffari F., Shekaari H.* Application of fatty acid-based eutectic mixture as a phase change material in microencapsulation of drugs: preparation, characterization and release behavior // BMC Chemistry. 2025. V. 19. N. 1. P. 42.

22. *Wang B., Shi M., Yao H. etc.* Preparation and application of low-temperature binary eutectic lauric acid-stearic acid/SiO_2 phase change microcapsules // Energy and Buildings. 2023. V. 279. P. 112706.

23. *Ma J., Liu H., Sun D. etc.* Synthesis of phase change microcapsules with binary fatty acid ester core and their feasibility investigation in energy conservation of cementitious materials // Construction and Building Materials. 2022. V. 330. P. 127212.

24. *Alič B., Šebenik U., Krajnc M.* Applying pH Modulation to Improve the Thermal Stability of Melamine–Formaldehyde Microcapsules Containing Butyl Stearate as a Phase-Change Material // Polymers. 2024. V. 16. N. 17. P. 2463.

25. *Trivedi G.V.N., Parameshwaran R.* Micro/nanoencapsulation of dimethyl adipate with melamine formaldehyde shell as phase change material slurries for cool thermal energy storage // Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis. 2022. V. 6. P. 100037.

26. *Huang Q., Wang S., He J. etc.* Experimental design of paraffin/methylated melamine-formaldehyde microencapsulated composite phase change material and the application in battery thermal management system // Journal of Materials Science & Technology. 2024. V. 169. P. 124…136.

27. *Yang Y., Venkataraman M., Mondal S.* Review: incorporation of organic PCMs into textiles // Textile Research Journal. 2023. V. 93. N. 15–16. P. 1789…1812. – DOI: 10.1177/00405175231165432.

28. *Sánchez-Silva L., Sánchez-Fernández M., Romero A. etc.* Development of microencapsulated phase change materials based on fatty acids for thermal energy storage in textiles // Materials & Design. 2022. V. 215. P. 110482.

29. *Dzindziora A., Dzienniak D., Rokita T. etc.* A study of the relationship between the dynamic viscosity and thermodynamic properties of palm oil, hydrogenated palm oil, paraffin, and their mixtures enhanced with copper and iron fines // Materials. 2024. V. 17. N. 7. P. 1538.

30. *Han Y., Tai X., Liu H. etc.* Encapsulation of α-tocopherol acetate of emulsion gels by synergistic stabilization with polysaccharides and modified shea butter // New Journal of Chemistry. 2023. V. 47. N. 37. P. 17303…17313.

31. *Zhang Q., Shi Y., Tu Z. etc.* Emulsion properties during microencapsulation of cannabis oil based on protein and sucrose esters as emulsifiers: stability and rheological behavior // Foods. 2022. V. 11. N. 23. P. 3923.

32. *Gao C., Jiang F., Zhang B. etc.* Preparation of coconut oil/aluminum nitride/expanded graphite composite phase change materials with high thermal conductivity and stable shape for thermal energy storage //

Chinese Journal of Chemical Engineering. 2024. V. 76. P. 272…280.

33. *Gul Z., Iqbal K.* Encapsulation of Coconut Oil Using Ethyl Cellulose as Coating Shell for Thermoregulating Response of Cotton // Journal of Natural Fibers. 2022. V. 19. N. 16. P. 2064396.

34. *Saraç E.G., Öner E., Kahraman M.V.* Developing a thermo-regulative system for nonwoven textiles using microencapsulated coconut oil // Journal of Industrial Textiles. 2022. V. 51. N. 2. P. 1952…1963.

35. *Salisu A.R., Waziri S.M., Galadima M.S.* Development of Encapsulated Shea Butter as Bio-Based Phase change Material for Thermal Storage Application // International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2022. V. 9. N. 12. P. 302…309.

36. *Kim H.J., Park J.H., Salsabila S., Yun C.* Coresheath Electrospinning of Shea Butter and Cellulose Acetate to Enhance Heat Transfer in Protective Clothing // Research Square (Preprint). 2021. – DOI: 10.21203/rs.3.rs-978565/v1.

37. *Rochmadi R., Prasetya A., Wahyu H.* Mechanism of Microencapsulation with Urea-Formaldehyde Polymer // American Journal of Applied Sciences. 2010. V. 7. N. 6. P. 739…745.

38. *Zadshir M., Kim B.-W., Yin H.* Bio-Based Phase Change Materials for Sustainable Development // Materials. 2024. V. 17. N. 19. P. 4816.

39. *Amberkar S.S., Mahanwar P.A.* Synthesis and Study of Microcapsules with Beeswax Core and Poly(Melamine-Formaldehyde) Shell for Thermal Energy Storage // Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences. 2020. V. 10. N. 2. P. 45…62.

40. *Attia-Essaies S., Saad H., Daghari B. etc.* Investigation of Beeswax–Calcite Microcapsules as PCM for Latent Thermal Energy Storage in Building Applications // Materials. 2025. V. 18. N. 24. P. 5521.

41. *Sharma R.K., Tyagi V.V., Kothari R., Buddhi D.* Review on Phase Change Materials for Thermal Energy Storage in Textiles // Journal of Energy Storage. 2023. V. 72. P. 108547.

42. *Alkan C., Sari A., Karaipekli A., Uzun O.* Microencapsulated n-Docosane as Phase Change Material for Thermal Energy Storage in Textiles // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2009, V. 93. N. 9. P. 1433…1440.

43. *Zadshir M., Kim B.-W., Yin H.* Bio-Based Phase Change Materials for Sustainable Development // Materials. 2024, V. 17. N. 19. P. 4816.

44. *Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D.* Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. V. 13. N. 2. P. 318…345.

45. *Chen H., Wang C., Yan C.* Microencapsulation of lipophilic bioactives using lanolin-based emulsions: Mechanisms and applications // International Journal of Pharmaceutics. 2021. V. 607. P. 120987.

REFERENCES

1. *Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I.* Technologies for imparting thermoregulatory properties to textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. N.4 (412). P. 29…41. (in Russian)

2. *Shchukina E.M., Graham M., Zheng Z., Shchukin D.G.* Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems // Chemical Society Reviews. 2018. V 47. N. 11. P. 4156…4175.

3. *Haule L.V., Nambela L.* Sustainable application of nanomaterial for finishing of textile material // Green nanomaterials for industrial applications. 2022. P. 177…206.

4. *Su Y., Zhao X., Han Y.* Phase change microcapsule composite material with intelligent thermoregulation function for infrared camouflage // Polymers. 2023. V. 15. N. 14. P. 3055.

5. *Odintsova O.I., Petrova L.S., Kozlova O.V.* Microcapsulation of biologically active substances and their use for the functionalization of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. N. 4(376). P. 85…89. (in Russian)

6. *Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I.* Microcapsulation of active fragments of biopolymers containing Tyr-Pro-hydrochloride dipeptides // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2022. V. 65. N. 6. P. 97…104. (in Russian)

7. *Alekhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I., Petrova L.S.* Advanced technologies for the immobilization of microcapsulated substances with a phase transition for the production of functional textile materials // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2025. V. 69. N. 4. P. 5…12. (in Russian)

8. *Khlissa F., Mhadhbi M., Aich W. etc.* Recent advances in nanoencapsulated and nano-enhanced phase-change materials for thermal energy storage: a review // Processes. 2023. V. 11. N. 11. P. 3219.

9. *Kazaz O., Karimi N., Kumar S., Falcone G.* Heat transfer characteristics of fluids containing paraffin core-metallic shell nanoencapsulated phase change materials for advanced thermal energy conversion and storage applications // Journal of Molecular Liquids. 2023. V. 385. P. 122385.

10. *Wang C., Liu P., Cheng X. etc.* Preparation and thermal properties of a new hydrated salt phase change material without phase separation // Materialia. 2025. V. 42. P. 102462.

11. *Dong X., Mao J., Geng S. etc.* Microencapsulation of sodium sulfate decahydrate composite phase-change energy storage materials // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. V. 147. N.14. P. 7709…7718.

12. *Yang K., Venkataraman M., Zhang X., Wiener J.* incorporation of organic PCMs into textiles // Journal of Materials Science. 2022. V. 57. N. 2. P. 798…847.

13. *Liu H., Shen H., Zhang H., Wang X.* Development of photoluminescence phase-change microcapsules for comfort thermal regulation and fluorescent recognition applications in advanced textiles // Journal of Energy Storage. 2022. V. 49. P. 104158.

14. *Huang Q., Zhang Z.* Microencapsulation of L-carvone and hexyl salicylate in carnauba wax, candelilla wax and beeswax by melt dispersion method // Polymer Testing. 2025. V. 143. P. 108728.

15. *Amberkar T., Mahanwar P.* Microencapsulation study of bioderived phase change material beeswax with ethyl cellulose shell for thermal energy storage applications // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2023. V. 45. N. 4. P. 11803…11818.

16. *Liu H., Shen H., Zhang H., Wang X.* Development of photoluminescence phase-change microcapsules for comfort thermal regulation and fluorescent recognition applications in advanced textiles // Journal of Energy Storage. 2022. V. 49. P. 104158.

17. *Rahaman M.S., Khan M.A., Hossain M.M., Islam M.R.* Eco-innovation in organic phase change materials for thermoregulatory textiles: sources, applications, fabrications, and future prospects towards sustainability // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024. V. 12. N. 3. P. 112456.

18. *El Majd A., Mankel C., Caggiano A., Koenders E.* Experimental study of thermal characteristics of bio-based textiles with microencapsulated phase change materials for thermal energy storage // Energy and Buildings. 2023. V. 295. P. 113289.

19. *Tang K.H.D., Liu Y., Hu J.* Advances in Thermoregulating Textiles: Materials, Mechanisms, and Applications // Fibers and Polymers. 2025. V. 26. N. 2. P. 22.

20. *Khlissa F., Mhadhbi M., Aich W. etc.* Recent advances in nanoencapsulated and nano-enhanced phase-change materials for thermal energy storage: a review // Processes. 2023. V. 11. N. 11. P. 3219.

21. *Ghaffari F., Shekaari H.* Application of fatty acid-based eutectic mixture as a phase change material in microencapsulation of drugs: preparation, characterization and release behavior // BMC Chemistry. 2025. V. 19. N. 1. P. 42.

22. *Wang B., Shi M., Yao H. etc.* Preparation and application of low-temperature binary eutectic lauric acid-stearic acid/SiO_2 phase change microcapsules // Energy and Buildings. 2023. V. 279. P. 112706.

23. *Ma J., Liu H., Sun D. etc.* Synthesis of phase change microcapsules with binary fatty acid ester core and their feasibility investigation in energy conservation of cementitious materials // Construction and Building Materials. 2022. V. 330. P. 127212.

24. *Alič B., Šebenik U., Krajnc M.* Applying pH Modulation to Improve the Thermal Stability of Melamine–Formaldehyde Microcapsules Containing Butyl Stearate as a Phase-Change Material // Polymers. 2024. V. 16. N. 17. P. 2463.

25. *Trivedi G.V.N., Parameshwaran R.* Micro/nanoencapsulation of dimethyl adipate with melamine formaldehyde shell as phase change material slurries for cool thermal energy storage // Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis. 2022. V. 6. P. 100037.

26. *Huang Q., Wang S., He J. etc.* Experimental design of paraffin/methylated melamine-formaldehyde microencapsulated composite phase change material and the application in battery thermal management system // Journal of Materials Science & Technology. 2024. V. 169. P. 124…136.

27. *Yang Y., Venkataraman M., Mondal S.* Review: incorporation of organic PCMs into textiles // Textile Research Journal. 2023, V. 93. N. 15–16. P. 1789…1812.

28. *Sánchez-Silva L., Sánchez-Fernández M., Romero A. etc.* Development of microencapsulated phase change materials based on fatty acids for thermal energy storage in textiles // Materials & Design. 2022. V. 215. P. 110482.

29. *Dzindziora A., Dzienniak D., Rokita T. etc.* A study of the relationship between the dynamic viscosity and thermodynamic properties of palm oil, hydrogenated palm oil, paraffin, and their mixtures enhanced with copper and iron fines // Materials. 2024. V. 17. N. 7. P. 1538.

30. *Han Y., Tai X., Liu H. etc.* Encapsulation of α-tocopherol acetate of emulsion gels by synergistic stabilization with polysaccharides and modified shea butter // New Journal of Chemistry. 2023. V. 47. N. 37. P. 17303…17313.

31. *Zhang Q., Shi Y., Tu Z. etc.* Emulsion properties during microencapsulation of cannabis oil based on protein and sucrose esters as emulsifiers: stability and rheological behavior // Foods. 2022. V. 11. N. 23. P.3923.

32. *Gao C., Jiang F., Zhang B. etc.* Preparation of coconut oil/aluminum nitride/expanded graphite composite phase change materials with high thermal conductivity and stable shape for thermal energy storage // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2024. V. 76. P. 272…280.

33. *Gul Z., Iqbal K.* Encapsulation of Coconut Oil Using Ethyl Cellulose as Coating Shell for Thermoregulating Response of Cotton // Journal of Natural Fibers. 2022. V. 19. N. 16. P. 2064396.

34. *Saraç E.G., Öner E., Kahraman M.V.* Developing a thermo-regulative system for nonwoven textiles using microencapsulated coconut oil // Journal of Industrial Textiles. 2022. V. 51. N. 2. P. 1952…1963.

35. *Salisu A.R., Waziri S.M., Galadima M.S.* Development of Encapsulated Shea Butter as Bio-Based Phase change Material for Thermal Storage Application // International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2022. V. 9. N. 12. P. 302…309.

36. *Kim H.J., Park J.H., Salsabila S., Yun C.* Coresheath Electrospinning of Shea Butter and Cellulose Acetate to Enhance Heat Transfer in Protective Clothing // Research Square (Preprint). 2021. – DOI: 10.21203/rs.3.rs-978565/v1.

37. *Rochmadi R., Prasetya A., Wahyu H.* Mechanism of Microencapsulation with Urea-Formaldehyde Polymer // American Journal of Applied Sciences. 2010. V. 7. N. 6. P. 739…745.

38. *Zadshir M., Kim B.-W., Yin H.* Bio-Based Phase Change Materials for Sustainable Development // Materials. 2024. V. 17. N. 19. P. 4816.

39. *Amberkar S.S., Mahanwar P.A.* Synthesis and Study of Microcapsules with Beeswax Core and Poly(Melamine-Formaldehyde) Shell for Thermal En-

ergy Storage // Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences. 2020. V. 10. N. 2. P. 45…62.

40. *Attia-Essaies S., Saad H., Daghari B. etc.* Investigation of Beeswax–Calcite Microcapsules as PCM for Latent Thermal Energy Storage in Building Applications // Materials. 2025. V. 18. N. 24. P. 5521.

41. *Sharma R.K., Tyagi V.V., Kothari R., Buddhi D.* Review on Phase Change Materials for Thermal Energy Storage in Textiles // Journal of Energy Storage. 2023. V. 72. P. 108547.

42. *Alkan C., Sari A., Karaipekli A., Uzun O.* Microencapsulated n-Docosane as Phase Change Material for Thermal Energy Storage in Textiles // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2009. V. 93. N. 9. P. 1433…1440.

43. *Zadshir M., Kim B.-W., Yin H.* Bio-Based Phase Change Materials for Sustainable Development // Materials. 2024. V. 17. N. 19. P. 4816.

44. *Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D.* Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. V. 13. N. 2. P. 318…345.

45. *Chen H., Wang C., Yan C.* Microencapsulation of lipophilic bioactives using lanolin-based emulsions: Mechanisms and applications // International Journal of Pharmaceutics. 2021. V. 607. P. 120987.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 20.05.26.

УДК 338.1
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_43

ЗЕЛЕНОЕ ФИНАНСИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – ПЕРЕХОД К УСТОЙЧИВОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ

GREEN FINANCING FOR TEXTILE INDUSTRY – TRANSITION TO A SUSTAINABLE DEVELOPMENT MODEL IN DIFFERENT COUNTRIES

С.М. НИКОНОРОВ[1], А.О. ОЧИЛОВ[2], И.И. САВЕЛЬЕВ[1], Р.Н. ЕФРЕМ[3], Ю.Б. АЛИЕВА[4], И.Т. БАШИРОВ[4]

S.M. NIKONOROV[1], A.O. OCHILOV[2], I.I. SAVELYEV[1], R.N. EFREM[3], Yu.B. ALIEVA[4], I.T. BASHIROV[4]

**([1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
[2]Каршинский государственный университет, Республика Узбекистан,
[3]Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
[4]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (филиал в г. Ташкенте, Республика Узбекистан))**

**([1]Moscow State University named after M.V. Lomonosov,
[2]Karshi State University, Uzbekistan
[3]Chuvash State University named after I.N. Ulyanova,
[4]Moscow State University named after M.V. Lomonosov (branch in Tashkent, Republic of Uzbekistan))**

E-mail: nico.73@mail.ru

Современный этап развития мировой экономики характеризуется переходом к новому типу роста, основанному на принципах устойчивости, экологической безопасности и социальной ответственности. Центральное место в этом процессе занимает зеленое финансирование – система финансовых инструментов, направленных на поддержку проектов, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду и способствующих переходу к низкоуглеродной экономике. Концепция устойчивого развития предполагает интеграцию экологических, социальных и управленческих факторов в деятельность компаний и финансовых институтов. ESG-подход стал основой для оценки инвестиционной привлекательности с точки зрения не

только прибыли, но и устойчивости. В условиях нарастающего климатического кризиса и деградации природных ресурсов зеленое финансирование текстильной промышленности становится не просто экономическим механизмом, но и стратегическим инструментом государственного управления. Оно позволяет странам интегрировать экологические факторы в финансовую и инвестиционную политику, способствуя достижению целей устойчивого развития (ЦУР), провозглашенных Организацией Объединенных Наций.

The current stage of global economic development is characterized by a transition to a new type of growth based on the principles of sustainability, environmental safety, and social responsibility. Central to this process is green finance—a system of financial instruments aimed at supporting projects that minimize their negative environmental impact and facilitate the transition to a low-carbon economy. The concept of sustainable development implies the integration of environmental, social, and governance factors into the activities of companies and financial institutions. The ESG approach has become the basis for assessing investment attractiveness in terms of not only profit but also sustainability. Amid the growing climate crisis and the degradation of natural resources, green finance in the textile industry is becoming not just an economic mechanism but also a strategic public administration tool. It allows countries to integrate environmental factors into financial and investment policies, contributing to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs) proclaimed by the United Nations.

Ключевые слова: зеленое финансирование, зеленые проекты, экологизация производства, текстильная промышленность, финансовая и инвестиционная политика.

Keywords: green finance, green projects, greening of production, textile industry, financial and investment policy.

Введение

Понятие "*зеленое финансирование*" (green finance) сформировалось в начале XXI века как ответ на необходимость переориентации мировой финансовой системы на поддержку устойчивого развития. Под этим термином понимают совокупность финансовых инструментов, механизмов и институтов, направленных на финансирование экологически чистых, энергоэффективных и климатически нейтральных проектов, способствующих сокращению выбросов парниковых газов, сохранению природных ресурсов и повышению экологической устойчивости экономики.

В более широком смысле зеленое финансирование включает не только прямые инвестиции в "зеленые" проекты, но и систему государственного регулирования, корпоративной отчетности, налоговых и кредитных стимулов, способствующих устойчивым инвестициям.

Согласно определению Программы ООН по окружающей среде (UNEP), зеленое финансирование – это "инвестиционная деятельность, направленная на поддержку экономического роста при одновременном снижении экологических рисков и дефицитов ресурсов". Таким образом, оно является не просто частью финансового рынка, а инструментом реализации экологической политики государства и корпоративной ответственности бизнеса.

Главная цель зеленого финансирования – переход к устойчивой, низкоуглеродной модели развития, при которой экономический рост сопровождается снижением негативного воздействия на окружающую среду.

К основным задачам зеленого финансирования относятся: финансирование проектов в сфере возобновляемой энергетики, энергоэффективности, водных ресурсов и переработки отходов; поддержка инноваций и технологий, направленных на снижение углеродного следа; развитие механизмов оценки экологических рисков в финансовом секторе; повышение прозрачности и доверия инвесторов к "зеленым" активам; формирование институциональной базы и стандартов "зеленых" инструментов.

Функционирование зеленого финансирования опирается на ряд принципов: 1) принцип прозрачности и отчетности – инвесторы и государственные органы должны иметь доступ к информации о воздействии проектов на окружающую среду; 2) принцип дополнительности – зеленое финансирование не заменяет традиционные источники капитала, а дополняет их, создавая новые стимулы для экологических инвестиций; 3) принцип интеграции – экологические риски должны учитываться при принятии финансовых решений наравне с экономическими и социальными факторами.

Зеленое финансирование в текстильной промышленности – это механизм, который помогает компаниям вкладывать деньги в проекты, снижающие вред для природы и делающие производство устойчивее. Это не какой-то один инструмент, а целый набор финансовых решений, направленных на поддержку "зеленых" инициатив в отрасли. Зеленое финансирование текстильной промышленности включает широкий спектр инструментов, среди которых ключевыми являются: 1) зеленые облигации (green bonds) – долговые ценные бумаги, средства от размещения которых направляются на финансирование экологически значимых проектов, это основной инструмент привлечения частного капитала в "зеленую" экономику; 2) зеленые кредиты – банковские кредиты, предоставляемые на льготных условиях для реализации проектов в области возобновляемых источников энергии, энергосбережения и устойчивого сельского хозяйства; 3) климатические фонды – государственные и международные структуры, поддерживающие проекты по борьбе с изменением климата, например, Зеленый климатический фонд ООН; 4) механизмы углеродного рынка – торговля квотами на выбросы парниковых газов и углеродными единицами, позволяющая экономически стимулировать снижение эмиссий; 5) инвестиции ESG – размещение капитала с учетом экологических (Environmental), социальных (Social) и управленческих (Governance) критериев.

Таким образом, зеленое финансирование текстильной промышленности представляет собой комплексную систему инструментов, охватывающую все уровни управления.

Современная концепция устойчивого развития предполагает интеграцию экологических, социальных и управленческих факторов в деятельность компаний и финансовых институтов. ESG-подход стал основой для оценки инвестиционной привлекательности с точки зрения не только прибыли, но и устойчивости.

В контексте зеленого финансирования ESG-подход в текстильной промышленности выполняет двойную функцию: 1) методологическую – формирует систему критериев и стандартов для оценки "зелености" проектов; 2) институциональную – способствует укреплению доверия между инвесторами, бизнесом и государством. Например, компания, выпускающая зеленые облигации, обязана подтвердить соответствие своего проекта ESG-критериям, пройти независимую верификацию и предоставить регулярную отчетность о результатах.

ESG-подход в текстильной промышленности – это не просто модный тренд, а ответ на серьезные вызовы, с которыми столкнулась отрасль. Это способ выстроить бизнес так, чтобы он был устойчивым в долгосрочной перспективе. Аббревиатура ESG расшифровывается как Environmental (экология), Social (социальная ответственность) и Governance (корпоративное управление).

Как эти три блока работают на практике в текстиле?

1-й блок "Экология (E)". Текстильная отрасль заметно влияет на окружающую среду: она ответственна примерно за 10%

мировых выбросов CO_2 и около 20% глобального загрязнения воды (в основном из-за окрашивания и обработки тканей). Поэтому в рамках ESG текстильные компании фокусируются: 1) на ответственном выборе сырья: переход на органический хлопок, переработанные материалы (например, ECONYL из старых рыболовных сетей или вторичный полиэстер), использование биоразлагаемых волокон; оптимизация ресурсов; 2) внедрении водосберегающих технологий, замкнутых водных циклов на производстве, энергоэффективного оборудования; 3) снижении отходов с применением принципов циркулярной экономики (проектирование вещей с учетом их последующей переработки, сбор и вторичное использование обрезков ткани, брака, а также прием старой одежды у потребителей); 4) применении безопасной химии – поэтапный отказ от вредных веществ в процессах окрашивания и отделки (инициативы вроде ZHDC Roadmap to Zero).

2-й блок "Социальная ответственность (S)". Здесь фокус сосредоточен на людях – сотрудниках, поставщиках, сообществах. Текстильные компании стремятся: 1) обеспечивать безопасные и справедливые условия труда, модернизировать рабочие места, внедрять системы охраны труда, проводить обучение; 2) бороться с нарушениями прав человека, исключать практики детского и принудительного труда, следить за соблюдением прав работников на всех этапах цепочки поставок. После трагедии на фабрике Rana Plaza в Бангладеш (2013) многие бренды стали строже проверять поставщиков; 3) поддерживать сообщества, участвовать в социальных проектах в регионах присутствия, способствовать развитию местных кадров.

3-й блок "Корпоративное управление (G)". Этот блок про то, как компания управляет рисками и прозрачностью: 1) прозрачность цепочек поставок – внедрение систем отслеживания (traceability) – от поля до полки, использование цифровых паспортов изделий, технологий блокчейна; 2) отчетность – публикация нефинансовых отчетов по признанным стандартам (GRI, SASB, TCFD). Для текстильной отрасли GRI даже разрабатывает специальный отраслевой стандарт, чтобы компаниям было проще выделять релевантные темы; 3) этика и управление рисками – антикоррупционные меры, продуманная структура управления, учет интересов всех заинтересованных сторон (стейкхолдеров).

Таким образом, ESG стал управленческим каркасом зеленого финансирования текстильной промышленности, связывающим экологическую ответственность с эффективным корпоративным управлением.

С экономической точки зрения зеленое финансирование представляет собой механизм перераспределения ресурсов в пользу устойчивых отраслей и инновационных технологий. Оно формирует новый рынок капиталов, где ключевыми активами становятся не только нефть или газ, но и чистая энергия, водные ресурсы, технологии переработки отходов.

С управленческой точки зрения зеленое финансирование – это новая парадигма управления экономикой, основанная на долгосрочном планировании, интеграции экологических критериев в стратегические документы и активном взаимодействии государства с частным сектором. Государство выполняет здесь координирующую и стимулирующую роль, формируя законодательные рамки, стандарты отчетности и механизмы налогового поощрения.

В результате зеленое финансирование становится ключевым элементом современной экономической политики, ориентированной на баланс между экономическим ростом и охраной окружающей среды.

Для предприятий текстильной промышленности можно выделить три наиболее важные позиции:

1. Требования рынка и регуляторов. Потребители все чаще выбирают бренды с прозрачной и ответственной политикой. В некоторых регионах (например, в ЕС) вводятся механизмы, которые делают ESG-критерии фактически обязательными (как механизм углеродной корректировки импорта – CBAM).

2. Риски. Игнорирование ESG-факторов ведет к репутационным потерям, рискам санкций или торговых ограничений.

3. Бизнес-выгоды. Компании, внедряющие устойчивые практики, часто получают доступ к "зеленому" финансированию, улучшают инвестиционную привлекательность и в итоге повышают лояльность клиентов.

Мировое развитие зеленого финансирования прошло несколько этапов – от декларативных инициатив в начале 1990-х годов до формирования полноценной глобальной системы в 2010–2020-е годы.

Первым важным импульсом стало принятие в 1992 году Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК), закрепившей необходимость интеграции экологических факторов в экономическую политику. В 1997 году Киотский протокол впервые заложил основу для углеродных рынков, позволив компаниям и государствам торговать квотами на выбросы парниковых газов.

Во второй половине 2000-х годов внимание сместилось к созданию финансовых инструментов, способных направлять инвестиции в экологические проекты. В 2007 году Европейский инвестиционный банк (EIB) выпустил первые в мире "зеленые облигации", открыв новую эру на рынке капитала. С тех пор зеленые финансовые инструменты стали важным элементом устойчивого экономического роста.

С 2015 года после подписания Парижского соглашения развитие зеленого финансирования приобрело стратегический характер. Страны начали разрабатывать национальные "зеленые" таксономии, создавать климатические фонды и разрабатывать стандарты ESG-отчетности.

Таким образом, сегодня зеленое финансирование является мировым мегатрендом, поддерживаемым как государственными структурами, так и крупнейшими частными корпорациями.

В странах Европы есть меры, направленные на "зеленое" финансирование текстильной промышленности, которые включают *законодательные инициативы, программы финансирования* и *стандарты*. Эти меры связаны с целями "зеленого" перехода в текстильной промышленности: сокращением потребления энергии, сведением к минимуму отходов и сокращением выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла.

Законодательные инициативы:

- "Европейская зеленая сделка" (The European Green Deal) (принята в 2019 году) – направлена на переход к экологически чистой экономике, включая текстильную промышленность. Некоторые цели: сокращение выбросов парниковых газов не менее чем на 50% к 2030 году; достижение углеродной нейтральности к 2050 году;

- "План действий по построению экономики замкнутого цикла" (часть The European Green Deal) – включает политику экологически рациональной продукции, предписания о том, как использовать меньше материалов и гарантировать, чтобы продукты могли быть повторно использованы и переработаны;

- "Трансграничное углеродное регулирование" (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) – мера защиты европейского бизнеса от экологического демпинга и предотвращения "утечки углерода", заключается в том, что компании, базирующиеся в ЕС, перемещают свои углеродоемкие предприятия в страны с менее жесткой климатической и экологической политикой.

Программы финансирования. В рамках "Европейской зеленой сделки" выделяются средства на инвестиции в чистые технологии и зеленую инфраструктуру. В 2021 году Евросоюз выпустил зеленые облигации в рамках плана возмещения убытков "ЕС следующего поколения" (Next Generation EU), средства от выпуска использовались для финансирования зеленых и устойчивых расходов. В некоторых странах предусматриваются льготные условия кредитования, механизмы снижения нагрузки на нормативный капитал и другие меры.

Стандарты. В странах Европы введены экоэтикетки, наличие которых на упаковке свидетельствует об экологической чистоте продукции. Стандарт "Экотекс-100" устанавливает требования к чистоте изделия от остаточных химических веществ. В некоторых странах выращивают органический хлопок без применения ядохимикатов, вредных для окружающей среды.

Примеры проектов, направленных на внедрение "зеленых" практик:

- текстильная пропитка MiDori bioWick на основе масла микроводорослей помогает ткани впитывать влагу и отводить ее от тела, имеет на 80% меньший углеродный след по сравнению со стандартными отделочными покрытиями на основе сырой нефти;

- нетканые материалы из целлюлозных волокон биоразлагаемы в конце своего жизненного цикла и могут быть полностью переработаны [2, 10].

В Европе есть несколько очень известных текстильных предприятий и у каждого своя специализация: кто-то делает ставку на люксовые ткани для моды, а кто-то – на технический текстиль или домашний ассортимент, но каждое текстильное предприятие внедряет ESG-подходы для возможного привлечения зеленого финансирования: 1. Vitale Barberis Canonico (Италия) – одна из старейших фабрик, специализируется на производстве высококачественных шерстяных тканей, которые особенно ценят производители мужских костюмов. 2. Loro Piana (Италия) – известна работой с редкими и премиальными материалами, например, шерстью викуньи и кашемиром. Компания также активно внедряет технологии, вроде водоотталкивающей обработки тканей. 3. Ermenegildo Zegna (Италия) – один из ключевых поставщиков шерстяных тканей для люксовых модных брендов. 4. Dormeuil (Франция) – марка основана в 1842 году, все ткани для нее изготавливаются в Англии. В ассортименте твид, фланель, кашемир, мохер и пашмина. 5. Daun-Gruppe (Германия) – эта фабрика сделала акцент на техническом текстиле. Ее доля на европейском рынке в этом сегменте довольно значительна. 6. Coats Holding (Великобритания) – один из крупнейших в Европе производителей ниток и пряжи. 7. Liberty Fabrics (Великобритания) – славится эксклюзивными тканями с уникальными принтами. Печатает узоры на шелке, хлопке, шерсти и нейлоне. 8. Manifatture Tessili ALMA (Италия) – основана в 1978 году. Успешно сочетает традиционное итальянское ткачество с современными технологиями. Выпускает постельное белье, покрывала, скатерти и махровые полотенца. 9. Manifattura del Prato SRL (Италия) – прославилась производством твида, букле и качественного жаккарда. 10. Sprintex (Франция) – специализируется на материалах для женской одежды. 11. Deveaux (Франция) – одно из старейших предприятий в Европе (основано в 1830 году) по изготовлению рубашечных тканей.

Китай стал одним из мировых лидеров в области зеленого финансирования благодаря сочетанию экономических стимулов и стратегического планирования. В 2016 году Народный банк Китая и Министерство финансов опубликовали "Руководство по построению зеленой финансовой системы" – первый в мире государственный документ, комплексно определивший механизмы финансирования экологических проектов.

К основным направлениям китайской стратегии относятся: развитие зеленого банковского сектора (введение специальных квот и стандартов для банковских кредитов); стимулирование зеленых облигаций (Китай занимает второе место в мире по их объему); внедрение национальной системы торговли квотами на выбросы CO_2, которая охватывает энергетический сектор; поддержка региональных инициатив – создание пилотных "зеленых финансовых зон".

Законодательные инициативы:

- "План пяти лет" – включает количественные цели по сокращению выбросов, росту доли ВИЭ и объемов зеленых инвестиций. С экономической точки зрения Китай рассматривает зеленое финансирование как средство технологического обновления промышленности и повышения международной конкурентоспособности.

- Закон об охране окружающей среды Китайской Народной Республики – основной закон, который служит ориентиром для развития "зеленой" экономики и правовой основой для регулирования "зеленых" финансов.

Программы финансирования. Фискальное и налоговое законодательство – стимул для развития "зеленого" финансирования, которое может направлять предприятия. В

"Руководстве по построению зеленой финансовой системы" (2016) – первом специализированном нормативном акте комплексного характера в сфере "зеленых" финансов – впервые было закреплено понятие "зеленого финансирования". В 2023–2024 годах объем зеленых кредитов рос темпами, превышающими общий банковский портфель, этому способствовали интеграция зеленых показателей в систему надзорной оценки, обязательная отчетность и доступ к льготному фондированию по линии Carbon Emission Reduction Facility (CERF).

Создание "зеленых" инвестиционных фондов помогает привлекать финансирование для инвестирования в проекты, связанные с уменьшением выбросов парниковых газов, низкоуглеродные и экологически чистые проекты. Например, в 2021 году создан Пекинский инвестиционный фонд зеленой инфраструктуры, который реализует "зеленые" инвестиционные проекты в различных отраслях промышленности.

Три ведущие биржи (Шанхайская фондовая биржа, Шэньчжэньская фондовая биржа, Пекинская фондовая биржа) закрепили обязанность составлять отчеты об устойчивом развитии для крупных эмитентов.

В Хучжоу (провинция Чжэцзян) и ряде других регионов отрабатываются схемы риск-компенсации по зеленым кредитам – создание фондов, покрывающих до 5% проблемных кредитов в зеленом портфеле банков.

Примеры проектов, направленных на внедрение "зеленых" практик:

- производство биоволокон – в 2024 году производство PLA, лиоцелла и других материалов растительного происхождения выросло более чем на 27%, заменив нефтехимические продукты с помощью технологий улавливания углерода;

- использование вторичного сырья – черные переработанные целлюлозные волокна и спандекс, бывшие в употреблении, регенерируются в высококачественные ткани с помощью молекулярного отслеживания для полной прозрачности цепочки поставок;

- сокращение расходов на производство экологичных тканей, например, компания Hengli Petrochemical сокращает расходы на производство экологичных тканей на 30% благодаря линиям непрерывной полимеризации мощностью 10 000 тонн [11, 14].

В Китае огромная текстильная индустрия – тут и гиганты, которые шьют одежду для мировых брендов, и компании, задающие тренды в конкретных нишах (хлопок, шерсть, технические ткани): 1. Heilan Group – один из крупных универсальных игроков. Производит джинсы, мужские и женские костюмы, рубашки, домашний текстиль. У компании несколько собственных брендов: HLA, HLA Jeans, Sancanal, Eichitoo, Heilan Home. Штаб-квартира в Цзянъине (провинция Цзянсу). 2. Semir Garment – основана в 1996 году, штаб-квартиры в Вэньчжоу и Шанхае. Специализируется на молодежной одежде (бренд Semir) и детской одежде (Balabala). 3. Jihua Group. Штаб-квартира в Пекине. Ключевая специализация – производство униформы: военной, полицейской, пожарной, а также корпоративной. 4. Bosideng International – основана в 1975 году, штаб-квартира в Шанхае. Компания известна в первую очередь пуховыми куртками, но выпускает и другую верхнюю одежду. Среди ее брендов Bosideng, Snow Flying, Kangbo, Bengen. 5. Youngor Group – основана в 1979 году, штаб-квартира в Нинбо (провинция Чжэцзян). Производит костюмы, рубашки, футболки, а также ткани. 6. Shenzhou International – основана в 1989 году, штаб-квартиры в Нинбо и Гонконге. Один из крупнейших в стране производителей трикотажных изделий. Важная деталь: компания не только выпускает собственную одежду, но и выполняет заказы для глобальных брендов (Nike, Adidas, Puma). 7. Esquel Group – основана в 1978 году, штаб-квартира в Гонконге, производственные мощности также в КНР, Малайзии, Шри-Ланке и Вьетнаме. Один из мировых лидеров по производству рубашек. По лицензии шьет одежду для Lacoste, Nike, Tommy Hilfiger. 8. Weiqiao Textile – частная компания. Ее часто выделяют как крупнейшего в Китае производителя хлопчатобумажных тканей. Ассортимент очень широкий: от простых тканей и пряжи до жаккарда, денима и других специализированных материалов. 9. Shandong Ruyi

Technology Group – многопрофильная компания, которая работает с разными видами текстиля: от тканей до готовой одежды. 10. Jiangsu Hengli Group – специализируется на пряже, окрашенных в пряже тканях, дениме и эластичных материалах. 11. Huafu Top Dyed Melange Yarn – известна производством меланжевой пряжи и сложных цветовых решений для модных брендов. 12. Lu Thai Textile – крупный поставщик окрашенных тканей и пряжи, работает с брендами из более чем 30 стран.

Большинство представленных китайских компаний сейчас активно развиваются: внедряют "зеленые" технологии (переработанный полиэстер), осваивают сегмент "умного текстиля" (встраивают в одежду сенсоры и беспроводные элементы). При этом часть предприятий остается контрактными производителями – они отшивают коллекции для международных марок, но параллельно растет и доля компаний со своими сильными брендами.

В Соединенных Штатах Америки зеленое финансирование развивается преимущественно через рыночные механизмы и инициативы частного сектора. Федеральное правительство до последнего времени не играло ведущей роли, однако ситуация изменилась с приходом администрации Джо Байдена и возвращением США в Парижское соглашение. В 2021 году был принят план “Build Back Better”, предусматривающий масштабные инвестиции в инфраструктуру и зеленую энергетику.

Американская модель зеленого финансирования базируется на **с**очетании рыночных стимулов, инноваций и корпоративного управления, что делает ее гибкой и конкурентоспособной.

Законодательные инициативы. Формирование принципов и стандартов "зеленых" проектов на национальном уровне помогает инвесторам контролировать уровень воздействия инвестиций на изменение климата. Чтобы финансирование считалось "зеленым", проект должен соответствовать определенным критериям, например, способствовать снижению выбросов парниковых газов, повышению энергоэффективности, развитию возобновляемой энергетики.

Кроме того, США активно внедряют управленческие практики корпоративной отчетности: Комиссия по ценным бумагам и биржам (SEC) в 2022 году предложила обязательное раскрытие данных о климатических рисках для публичных компаний.

Программы финансирования. Американский рынок зеленых облигаций является одним из крупнейших в мире. Активно развиваются зеленые ипотечные кредиты, ESG-фонды и венчурные инвестиции в чистые технологии. Крупнейшие банки (JPMorgan, Citigroup, Bank of America) формируют собственные климатические стратегии и создают специализированные подразделения устойчивого финансирования. Банки предоставляют "зеленые" кредиты на льготных условиях для проектов, связанных с экологией. Увязка процентной ставки по кредитам с показателями устойчивости компании, например с рейтингами ESG, помогает снизить риски для банков по кредитам. Посредниками в "зеленом" кредитовании могут быть рейтинговые агентства, которые проводят оценку ESG-рисков и присваивают "зеленые" рейтинги.

В США существуют "зеленые" инвестиционные фонды, например, Calvert Green Bond Fund и TIAA-CREF Green Bond Fund, которые выделяют инвестиции в проекты, направленные на улучшение экологической ситуации [4, 6].

Примеры проектов, направленных на внедрение "зеленых" практик.

В США есть инициативы в области "зеленого" финансирования проектов в текстильной промышленности. Они направлены на стимулирование инвестиций в проекты, которые способствуют экологической устойчивости, в частности, на разработку экологически чистых альтернатив материалов или уменьшение загрязнений от производственных линий. Есть, например, программы, направленные на создание замкнутого цикла производства, переработку материалов, использование экологически чистого сырья. Так, компания Lenzing предлагает перерабатывать геотекстиль, который обычно используется для защиты ледников, в новые текстильные волокна.

В США есть несколько очень известных компаний в текстильной сфере, причем они работают в разных нишах: кто-то делает ткани для других брендов, а кто-то сам выпускает одежду под известными марками: 1. VF Corporation – одна из крупнейших текстильных корпораций, владеет целым портфелем брендов. Среди них: Lee и Wrangler (джинсовая и рабочая одежда; The North Face (одежда и снаряжение для активного отдыха); Timberland, Vans, Smartwool (термобелье и одежда из мериносовой шерсти); Dickies (спецодежда). 2. VF Corporation Hosts Investor Day: VF Corporation (VFC). Cone Denim специализируется на производстве тканей, в первую очередь денима. Компания активно внедряет экологичные практики: снижает расход воды, использует этичное сырье и даже разрабатывает ткани с антимикробными свойствами. 3. Unifi – лидер в области производства синтетических и переработанных волокон. Компания делает акцент на устойчивом развитии: например, ее бренд REPREVE – это полиэстер, созданный из переработанных пластиковых бутылок и других постпотребительских отходов. Такую пряжу часто используют крупные бренды спортивной и активной одежды (Nike, Patagonia, North Face, Levi Strauss & Co.). Unifi развивает и другие направления – от нейлона до нетканых материалов для разных отраслей (автомобильной, медицинской, военной). 4. Levi Strauss & Co. – производитель джинсов (Levi's), у нее есть собственное текстильное производство – она разрабатывает и выпускает деним, а также другие ткани для своей продукции.

У каждой из этих компаний своя специализация: кто-то делает упор на традиционные ткани, а кто-то – на инновации и переработку. Но многие компании США уже сейчас применяют экологичные материалы или ткани для спортивной одежды.

Международные институты формируют универсальные управленческие стандарты и методологии, что способствует интеграции национальных финансовых систем в глобальный рынок устойчивых инвестиций.

Ключевую роль в становлении и развитии зеленого финансирования играют международные финансовые организации: Всемирный банк активно поддерживает переход развивающихся стран к устойчивым моделям экономики через финансирование проектов по возобновляемой энергетике, управлению водными ресурсами и борьбе с загрязнением; Международный валютный фонд (МВФ) внедряет климатические аспекты в программы финансовой стабильности, включая оценку уязвимости к климатическим рискам; Зеленый климатический фонд (Green Climate Fund)**,** созданный в 2010 году под эгидой ООН, стал крупнейшей платформой для перераспределения средств из развитых стран в пользу развивающихся, финансируя переход к низкоуглеродной экономике; Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) и Азиатский банк развития (АБР) активно участвуют в финансировании "зеленых" проектов в странах СНГ и Центральной Азии, включая Россию и Узбекистан.

Мировой опыт показывает, что успех зеленого финансирования зависит от трех взаимосвязанных факторов: 1) политическая воля и наличие долгосрочной государственной стратегии; 2) развитая нормативно-правовая база и система отчетности; 3) активное участие частного сектора и международных организаций.

Европейская модель демонстрирует эффективность институционального регулирования, китайская – силу стратегического планирования, а американская – динамику рыночных инноваций. Совокупно они создают глобальный контекст, в котором страны СНГ, включая Россию и Узбекистан, формируют собственные подходы к зеленому финансированию [15].

В Российской Федерации концепция зеленого финансирования развивается в условиях сочетания ресурсно-сырьевой экономической модели и растущего внимания к вопросам экологической безопасности и климатической устойчивости. Стратегические ориентиры формируются на пересечении национальных приоритетов экономического роста, энергетической безопас-

ности и международных обязательств в сфере охраны окружающей среды. Для России зеленое финансирование представляет собой инструмент диверсификации экономики, модернизации инфраструктуры и снижения экологических рисков, который потенциально способен привлечь как внутренний, так и международный капитал в проекты с высокой добавленной стоимостью (энергетика, модернизация производства, водопользование, управление отходами).

Законодательные инициативы. Государственная повестка включает несколько направлений: разработка нормативно-правовой базы, стимулирование эмиссии "зеленых" финансовых инструментов, формирование методик оценки экологических рисков и развитие рынка ESG-услуг (верификация, аудит, стандартизация). Управленческая парадигма означает необходимость согласования действий между федеральными министерствами (экономики, природных ресурсов, энергетики), регулятором финансового рынка и банками развития.

Законодательные меры предусматривают введение расширенной ответственности производителей. Утилизация выпущенного товара становится обязанностью: после утраты потребительских свойств одежду необходимо утилизировать или заплатить экологический сбор.

Ряд мер поддерживает экологическую текстильную промышленность в России. Вот некоторые из них: 1. Налоговые льготы. Например, освобождение от налога на прибыль и НДС для региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами. Организации также могут получить освобождение от налога на имущество, если введут объекты с высокой энергетической эффективностью. 2. Субсидии и гранты. Государственные программы поддержки включают субсидии и гранты для компаний, работающих в области охраны окружающей среды. 3. Налоговые вычеты на исследования и разработки. Компании, инвестирующие в исследования и разработки в области экологически чистых технологий, могут воспользоваться налоговыми вычетами на сумму до 90% от расходов на такие мероприятия. 4. Поддержка инвестиционных проектов. Предприятия могут получить льготное финансирование через специальные облигации или займы, если их проекты оказывают минимальное воздействие на окружающую среду.

Кроме того, с 1 сентября 2025 года вступил в силу приказ Минприроды России от 14.04.2025 №207, который утверждает нормативный документ в области охраны окружающей среды "Технологические показатели наилучших доступных технологий производства текстильных изделий" [7, 9].

Программы финансирования. Ключевыми институтами в развитии зеленого финансирования в России выступают: Центральный банк (Банк России), Министерство экономического развития, Министерство природы, государственные фонды и банки развития (включая ВЭБ и другие специализированные институты). Банк России в рамках своей функции поддержания финансовой стабильности постепенно интегрирует климатические и экологические риски в надзорную практику, это включает оценку уязвимости финансовых организаций к переходным рискам, развитие методик стресс-тестирования и продвижение стандартов раскрытия информации. Государственные ведомства отвечают за формирование нормативной базы, разработку целевых программ и координацию международного взаимодействия.

Государственные банки (в том числе банки развития) выполняют роль катализаторов, они выступают инициаторами пилотных проектов по "зеленому" кредитованию и гарантированию, аккумулируют долгосрочные ресурсы для инфраструктурных трансформаций и софинансируют частные инициативы. Частный банковский сектор пока демонстрирует осторожность, обусловленную неопределенностью стандартизации "зелености" проектов и недостаточной глубиной рынка долгового финансирования на длительные сроки.

На российском рынке развиваются следующие инструменты зеленого финансирования: 1. Зеленые облигации. Рынок зеленых облигаций в России формировался по-

степенно: отдельные крупные компании и государственные структуры выпускали облигации, средства от которых направлялись на экологические проекты (энергетика, модернизация инфраструктуры, проекты по утилизации отходов). Основной проблемой остается необходимость строгой верификации назначения средств и прозрачной отчетности. 2. Зеленые кредиты и линии финансирования. Коммерческие и государственные банки предоставляют кредиты на модернизацию производства, инвестпроекты в ВИЭ и энергоэффективность. Часто такие кредиты сопровождаются субсидированием процентной ставки или государственными гарантиями. 3. Государственные программы и фонды. Через целевые программы и фонды государство поддерживает развитие возобновляемой энергетики, энергоэффективных мероприятий и реконструкции инфраструктуры. Государственные инвестиции и субсидии являются важным фактором снижения инвестиционных рисков для частных инвесторов. 4. Механизмы страхования и гарантий. Страховые продукты и механизмы частично покрывают климатические и операционные риски проектов, повышая привлекательность "зеленых" инвестиций.

Практика российских регионов и крупных компаний охватывает широкий спектр проектов: строительство ветровых и солнечных электростанций (в отдельных регионах), мероприятия по энергосбережению на промышленных предприятиях, проекты по модернизации систем водоснабжения и очистки сточных вод, программы по управлению промышленными и коммунальными отходами. В ряде случаев крупные промышленные холдинги инициируют внутренние ESG-программы и выпускают "зеленые" долговые инструменты с внешней верификацией.

Примеры проектов, направленных на внедрение "зеленых" практик в текстильную промышленность России: 1) переработка текстильных отходов, из которых получают волокна для производства новой ткани, утеплители, наполнители для мебели и даже строительные материалы. Например, в Ивановской области работает экокластер "Зеленая нить", который включает пять предприятий и использует технологию разволокнения для получения волокна из отходов; 2) использование технологии грин-вискозы – это инновационный метод получения экологически чистого сырья из товарной целлюлозы. Технология снижает негативное воздействие на окружающую среду при производстве текстильных материалов. Планируется запустить производство экологически чистого волокна на основе грин-вискозы в Шуе (Ивановская область); 3) в 2024 году экокластер "Зеленая нить" стал победителем в номинации "Экоинициатива" Национальной экологической премии.

Несмотря на очевидные перспективы, развитие зеленого финансирования в России сталкивается с рядом системных проблем: 1) нормативная неопределенность и отсутствие единых стандартов. Различные подходы к определению, что считать "зеленым", усложняют процесс верификации и снижают доверие инвесторов. Без национальной таксономии и согласованных методик оценки устойчивости трудно обеспечить сопоставимость проектов; 2) низкая прозрачность и недостаточная ESG-отчетность. Для многих компаний отчетность по экологическим показателям остается добровольной и неполной, что препятствует привлечению долгосрочных инвестиций; 3) ограниченный рынок долгового финансирования на длительные сроки. Инфраструктурные "зеленые" проекты требуют долгосрочного финансирова-ния; дефицит подобных ресурсов на частном рынке усложняет реализацию масштабных инициатив; 4) высокие транзакционные издержки и риски реализации. Проекты требуют тщательной предпроектной подготовки и управления рисками, что увеличивает затраты и порог входа для инвесторов.

В России есть несколько очень известных предприятий текстильной промышленности, у каждого своя специализация и история: 1. "Шуйские ситцы" (Шуя, Ивановская область) – специализируется на хлопчатобумажных тканях и домашнем текстиле. 2. Ивановский меланжевый комбинат (Иваново) – производит ткани для по-

шива фирменной, специальной и корпоративной одежды. 3. "Галтекс" (Иваново) – выпускает хлопчатобумажные ткани бязевой и полотенечной групп. 4. "Камышинский текстиль" (Камышин, Волгоградская область) – выпускает хлопчатобумажную пряжу, суровые бязи, а также постельное белье. 5. "Павлово-Посадский камвольщик" (Павловский Посад, Московская область) – известен производством камвольных тканей, в том числе для классических костюмов. 6. Брянский камвольный комбинат (Брянск) – выпускает ткани европейского уровня для корпоративной, форменной и ведомственной одежды. 7. "Трехгорная мануфактура" (Москва). 8. ООО "ТДЛ Текстиль" – один из ведущих российских производителей натуральных тканей, домашнего текстиля и медицинских изделий. 9. ООО "Неткаика" – специализируется на нетканых материалах (спанбонд, мельтблаун), использующихся в медицине (маски, защитная одежда), гигиене и строительстве. 10. Свердловский камвольный комбинат (Екатеринбург) – один из основных производителей шерстяных тканей в стране. 11. Вологодский текстильный комбинат ("Вотекс") – предприятие полного цикла: от производства тканей до готовых текстильных изделий.

Для эффективного развития зеленого финансирования в России необходимы управленческие решения на нескольких уровнях: 1. Государственная координация и стандартизация. Разработка национальной таксономии "зеленых" проектов, унификация требований к отчетности и верификации. Это повысит доверие инвесторов и снизит транзакционные издержки. 2. Поддержка частного сектора и рынка капитала. Стимулирование эмиссии "зеленых" облигаций через налоговые преференции, субсидирование процентных ставок и создание реестров верифицированных проектов. 3. Кадровая и институциональная подготовка. Программы обучения, стандарты оценки климатических рисков, развитие consultancy-рынка (верификаторы, ESG-консультанты). 4. Международное сотрудничество. Привлечение международных финансовых институтов и стандартов для передачи опыта, софинансирования и повышения доверия иностранных инвесторов.

Российская практика зеленого финансирования находится в фазе формирования институциональной базы и поиска эффективных управленческих механизмов. Стратегически важна координация между государством, банковским сектором и частным инвестором, а также создание прозрачной системы стандартов и верификации. При условии консолидации усилий и развития управленческих компетенций Россия способна усилить свою инвестиционную привлекательность в секторе "зеленой" экономики и обеспечить переход к более устойчивой модели развития.

В постсоветском пространстве развитие зеленого финансирования находится на разных стадиях, но все страны СНГ постепенно приходят к пониманию необходимости интеграции экологических и климатических приоритетов в экономическую политику. Несмотря на различия в уровнях экономического развития и институциональной зрелости, для региона характерны общие черты: высокая зависимость экономик от природных ресурсов; высокая энергоемкость производства; уязвимость перед климатическими рисками (особенно засухи и дефицита воды); активное взаимодействие с международными финансовыми институтами.

Узбекистан как страна с динамично развивающейся экономикой и ограниченными природными ресурсами находится в процессе активного перехода к модели устойчивого роста. Географическое положение, климатическая уязвимость и высокая зависимость от водных ресурсов делают вопросы экологии и климатической адаптации стратегически важными для национальной политики.

Законодательные инициативы. В последние годы правительство Узбекистана осознало необходимость интеграции экологических принципов в экономическое управление и активизировало реформы, направленные на развитие "зеленой" экономики. Основой стала Концепция перехода к зеленой экономике на 2019–2030 годы**,**

утвержденная постановлением Президента Республики Узбекистан.

Документ определяет ключевые приоритеты: 1) повышение энергоэффективности экономики; 2) развитие возобновляемых источников энергии; 3) рациональное использование водных и земельных ресурсов; 4) внедрение механизмов "зеленого" инвестирования и финансирования.

Таким образом, в Узбекистане зеленое финансирование рассматривается как инструмент структурной модернизации экономики, направленный на снижение экологической нагрузки и стимулирование инновационного развития.

Государственная политика Узбекистана в сфере зеленого финансирования базируется на сочетании национальных стратегий и международных обязательств. Основные стратегические документы включают: 1. Стратегию перехода к "зеленой" экономике (2019–2030 гг.), предусматривающую сокращение энергоемкости ВВП не менее чем на 30% и увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до 25% в энергобалансе страны. 2. Программу развития возобновляемой энергетики (до 2030 года), предусматривающую строительство солнечных и ветровых электростанций общей мощностью более 5 ГВт. 3. Национальную стратегию по изменению климата, ориентированную на адаптацию экономики к климатическим рискам и повышение устойчивости сельского хозяйства.

С точки зрения государственного управления зеленое финансирование интегрируется в систему экономического планирования через Министерство экономики и финансов, Министерство энергетики и Министерство экологии, охраны окружающей среды и климатических изменений.

Для координации деятельности в 2021 году создана Межведомственная комиссия по вопросам зеленого роста и климатического финансирования, целью которой является разработка национальной таксономии "зеленых" проектов и привлечение международных инвестиций.

Программы финансирования. В Узбекистане зеленое финансирование находится в стадии становления, однако уже сформированы ключевые направления: 1. Зеленые облигации и кредиты. В 2021 году в стране состоялся первый выпуск "зеленых" облигаций Азиатского банка развития (АБР) совместно с узбекскими партнерами для финансирования проектов в сфере возобновляемой энергетики. Национальные банки начинают разрабатывать собственные "зеленые" кредитные продукты, в частности для малого и среднего бизнеса в сфере энергосбережения. 2. Международное софинансирование. Всемирный банк, Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), Азиатский банк развития и Зеленый климатический фонд активно поддерживают узбекские проекты в области чистой энергетики, водоснабжения, утилизации отходов и модернизации сельского хозяйства. 3. Кредитные линии и грантовые программы. Реализуются программы по линии ЕБРР и ПРООН, направленные на финансирование энергоэффективных проектов в промышленности и на транспорте.

По информации на декабрь 2024 года, государственная поддержка, в том числе налоговые льготы, субсидии и финансирование, позволяет текстильным предприятиям Узбекистана модернизировать производство и повышать его эффективность. Это происходит в рамках объявленного в стране "Года охраны окружающей среды и зеленой экономики". По словам генерального директора компании Global Textile Музаффара Разакова, этот год стал стимулом для внедрения экологичных подходов в промышленности.

Примеры проектов, направленных на внедрение "зеленых" практик в текстильной промышленности Узбекистана: 1) установка систем биологической очистки воды на предприятиях Uztex Group. Это единственное очистительное сооружение такого масштаба в Средней Азии; 2) внедрение электролизного способа очистки воды на предприятии Osborn Textile. Он на 100% очищает отходы использованной воды в красильных цехах; 3) установка водоочистки на предприятии HAJ Tex. Здесь внедрены экологические сертификаты ISO

14001, ISO 45001, GOTS, Oeko-tex, Organic EU [8, 13].

В Узбекистане работает много текстильных предприятий – от крупных комплексов полного цикла до профильных фабрик: 1. Samarkand Euro Asia Textile – реализует полный производственный цикл: от выращивания тонковолокнистого хлопка до выпуска готовых изделий (сорочки, блузки, платья, детская одежда, постельное белье). 2. Bukhara Azteks – вертикально интегрированный производитель пряжи и готового трикотажа (футболки, свитшоты, поло, худи, домашний текстиль). Компания имеет сертификаты SEDEX, OEKO-TEX, ISO 9001. 3. Nihol Art Tekstil – специализируется на производстве трикотажных полотен и изделий. 4. BEK MEGA TEXTILE – производит трикотаж, готовую одежду и пряжу. 5. Jizzakh Toshtepa Textile – занимается производством трикотажного полотна, его покраской и пошивом готовых изделий. 6. Bukharo Cotton Textile – вертикально интегрированная компания полного цикла в Бухаре. Входит в группу "Петромаруз". 6. Ziyo Textile – производит ткани и полотно для домашнего текстиля (махровая и вафельная ткань, пештемаль), а также выпускает комплекты постельного белья. 7. Modal Jersey – вязальная фабрика, которая считается одним из лидеров на текстильном рынке Узбекистана. 8. Daka-Tex – занимается производством пряжи.

Многие из этих предприятий входят в ассоциацию "Узтекстильпром" – это отраслевое объединение, которое помогает компаниям координировать работу и выходить на новые рынки. Узбекистан также рассматривает возможность присоединения к международным инициативам по региональному климатическому финансированию, включая совместные проекты с Казахстаном, Кыргызстаном и Таджикистаном. Узбекистан демонстрирует значительные успехи в становлении системы зеленого финансирования благодаря политической воле, международному сотрудничеству и активному участию государства. Однако переход к устойчивой модели требует углубления институциональных реформ, развития внутренних источников капитала и укрепления управленческих механизмов.

Несмотря на позитивную динамику, процесс формирования системы зеленого финансирования в Узбекистане сталкивается с рядом проблем: 1. Недостаточная институциональная база. Пока отсутствует национальная таксономия и единая методология оценки "зеленых" проектов. Это осложняет стандартизацию и затрудняет взаимодействие с международными инвесторами. 2. Ограниченный внутренний финансовый рынок. Большинство инвестиций поступает из внешних источников, что делает систему зависимой от донорского финансирования. 3. Кадровый дефицит и слабая ESG-культура бизнеса. Отсутствие подготовленных специалистов по климатическому финансированию и корпоративной отчетности снижает эффективность управления проектами. 4. Неравномерность регионального развития. В некоторых регионах инвестиции сосредоточены на энергетике, в то время как сферы водных ресурсов, транспорта и отходов остаются недофинансированными.

С точки зрения государственного управления важнейшим вызовом становится необходимость создания координированной системы управления "зелеными" инвестициями с прозрачными процедурами отбора, мониторинга и оценки проектов.

В долгосрочной перспективе развитие зеленого финансирования в Узбекистане ориентировано: на создание национальной таксономии зеленого финансирования, согласованной с международными стандартами; внедрение механизмов углеродного регулирования и отчетности; формирование национального климатического фонда; развитие "зеленого" банковского сектора и выпуск корпоративных зеленых облигаций; повышение уровня ESG-прозрачности бизнеса и государственных предприятий; стимулирование внутреннего рынка инвестиций через налоговые льготы и государственные гарантии.

В перспективе Узбекистан может стать региональным центром зеленого инвестирования в Центральной Азии, если обеспе-

чит согласованность государственной политики, международных стандартов и потребностей национальной экономики.

Казахстан считается пионером зеленого финансирования в СНГ. Уже в 2013 году здесь была принята Концепция перехода к "зеленой экономике", а в 2018 году запущен рынок зеленых облигаций на базе Международного финансового центра "Астана" (МФЦА).

Законодательные инициативы Казахстана: 1. Принята национальная таксономия зеленого финансирования, адаптированная к международным стандартам, в частности, к принципам ICMA. 2. Создан Зеленый совет при правительстве, координирующий экологические реформы и осуществляющий контроль за реализацией климатической политики. 3. В 2020 году запущена система торговли выбросами CO_2 – первая на постсоветском пространстве. 4. Проведен ряд успешных выпусков зеленых облигаций (включая АО "Жасыл Даму", а также квазигосударственные компании в энергетике и строительстве).

В 2024 году Президент страны Касым-Жомарт Токаев внес изменения в концепцию перехода к "зеленой" экономике. В рамках концепции финансовые институты планируют привлекать к организации проектов, которые помогут улучшить и восстановить окружающую среду [12].

Программы финансирования. Финансовая инфраструктура Казахстана развита значительно лучше, чем в большинстве стран СНГ. Международные банки активно участвуют в финансировании ВИЭ-проектов, а отечественные банки начинают внедрять принципы ESG-отчетности.

Казахстан применяет модель, основанную на тесной координации между государством, МФЦА и международными институтами (ЕБРР, АБР, Всемирный банк). Таким образом, зеленое финансирование стало частью национальной экономической стратегии и фактором интеграции в глобальные рынки капитала.

В Казахстане используются следующие инструменты "зеленого" финансирования: 1. Зеленые облигации. В 2021 году осуществлен первый выпуск зеленых облигаций на сумму 10 млрд тенге. 2. Зеленые кредиты. В Казахстане "зеленые" кредиты предоставляют банки второго уровня, а также международные финансовые институты, такие как Азиатский банк развития и Европейский банк реконструкции и развития. 3. Зеленые фонды. В Казахстане в 2022 году создан первый "зеленый" фонд под управлением АО "Казына Капитал".

Беларусь следует пути государственно-координированного развития зеленого финансирования, где ключевую роль играют регуляторы и банки развития.

Законодательные инициативы. В 2016 году страна приняла Национальную стратегию устойчивого развития до 2030 года, предусматривающую переход к "зеленой" экономике. Основные направления: развитие возобновляемой энергетики, особенно биотоплива и малых гидроэлектростанций; повышение энергоэффективности промышленности и ЖКХ; совершенствование системы управления отходами.

Национальный план действий по развитию "зеленой" экономики на 2021–2025 годы утвержден постановлением Совета Министров от 10 декабря 2021 года №710. В плане зеленое финансирование осуществляется для развития "зеленой" экономики.

Институционально в Беларуси создана система государственного регулирования с элементами обязательной экологической экспертизы инвестиционных проектов. Банк развития Республики Беларусь и Минприроды выступают ключевыми участниками финансирования экологических инициатив. Несмотря на ограничения внутреннего рынка капитала, Беларусь демонстрирует высокую степень координации государственного и банковского сектора, что повышает эффективность реализации проектов.

Программы финансирования. В 2019 году Беларусь осуществила выпуск первых зеленых облигаций в рамках проекта по модернизации коммунальной инфраструктуры. Эти облигации прошли международную верификацию и были поддержаны Европейским банком реконструкции и развития.

В Беларуси развивается зеленое финансирование проектов в текстильной промышленности – финансирование экологически чистых и ресурсосберегающих, низкоуглеродных проектов. Оно направлено на развитие "зеленой" экономики для достижения целей социально-экономического развития при существенном сокращении экологических рисков.

Вот некоторые инструменты зеленого финансирования: 1) зеленые облигации – ценные бумаги, эмитируемые для привлечения средств на реализацию экологически ориентированных проектов; 2) льготное кредитование – финансирование производителей экологически чистых товаров, услуг и технологий; 3) субсидии на зеленые проекты. Развитие зеленого финансирования в Беларуси включает законодательные меры, деятельность банков и инвестиционных фондов, а также международное сотрудничество.

Белорусская валютно-фондовая биржа является площадкой для размещения и продажи "зеленых" облигаций. Соглашение между ОАО "Белорусская валютно-фондовая биржа" (БВФБ) и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды в сфере зеленого финансирования направлено на развитие механизмов зеленого финансирования и обращения углеродных единиц в Беларуси. Особое внимание в соглашении уделено созданию универсальной "зеленой" торговой платформы на базе БВФБ, которая обеспечит учет прав на квоты выбросов парниковых газов и их торговлю в рамках национального углеродного регулирования [1, 3].

Корпоративные эмитенты вправе эмитировать облигации, средства от размещения которых направляются на экологически благоприятную деятельность. При этом экологическую ориентированность облигаций необходимо детально раскрыть в эмиссионных документах (цель эмиссии и направление использования привлеченных средств на конкретный экологический проект).

ОАО "СберБанк" с 2023 года определил для клиентов критерии "зеленых" продуктов, внедрил инструменты идентификации ESG-риска, разработал и утвердил чек-лист оценки ESG-рисков. В 2023 году банк финансировал "зеленые" инфраструктурные проекты корпоративных клиентов. ОАО "Белинвестбанк" поддерживает экологический бизнес льготными кредитами для юридических лиц и предпринимателей. ОАО "Приорбанк" предлагает клиентам электронные кредиты на приобретение экологически чистых товаров в рамках программы "Зеленая экономика".

Правительство ***Армении*** с 2020-х годов работает над созданием национального фонда зеленого развития, который аккумулирует государственные и донорские средства для финансирования долгосрочных экологических проектов. Армения делает ставку на децентрализацию и вовлечение местных органов власти. Система финансирования базируется на партнерстве государства, банков и международных организаций. Это обеспечивает адаптивность к региональным особенностям и стимулирует участие гражданского общества.

Законодательные инициативы. Армения идет по пути развития модели "зеленой" экономики, в том числе в текстильной промышленности. В 2022 году правительство страны запустило платформу GREEN Армения в сотрудничестве с Европейским Союзом, Всемирным банком и Программой развития ООН. Цель платформы – объединить и оптимизировать политику и инвестиционные инициативы для перехода Армении к "зеленой" экономике.

В 2023 году правительство Армении утвердило Программу развития текстильной промышленности страны и план мероприятий на 2023–2026 годы. Документ содержит три ключевых направления: развитие человеческого капитала, повышение производственных возможностей и стимулирование экспорта [5].

Программы финансирования. В 2021 году Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) совместно с Зеленым климатическим фондом направил 6 млн долларов банку Inecobank. Локальный бизнес мог получить кредиты на развитие зеленых технологий по сниженной ставке на сумму от 12,5 тыс. долларов и сроком до 10 лет.

В 2020 году один из крупнейших банков страны – AmeriaBank – разместил зеленые облигации, номинированные в евро, на сумму, эквивалентную 50 млн долларов, для финансирования зеленых проектов, способствующих экологической устойчивости.

Таким образом, зеленое финансирование для стран СНГ – это не просто модный тренд, а стратегический инструмент обеспечения энергетической и экологической безопасности, а также способ привлечения иностранных инвестиций.

ВЫВОДЫ

Мировой опыт подтверждает, что зеленое финансирование текстильной промышленности возможно только при сочетании политической воли, институциональных реформ и привлечения внешнего капитала. Страны БРИКС+ и СНГ демонстрируют тенденцию к формированию собственных моделей, ориентированных на национальные приоритеты (ЭКГ – стандарты с внедрением наилучших доступных технологий (НДТ) и с сочетанием с системой экологического менеджмента (СЭМ)), но при этом тесно связанных с международными стандартами ESG. Зеленое финансирование текстильной промышленности становится ключевым инструментом устойчивого развития и модернизации экономик. Для России, Узбекистана и стран СНГ этот процесс имеет двойственную природу: с одной стороны, необходимость адаптации к глобальным стандартам, с другой – возможность выстроить собственную модель, учитывающую национальные особенности.

Мировой опыт демонстрирует, что успешное развитие предприятий текстильной промышленности возможно только при интеграции экономических, институциональных и управленческих мер. Россия движется в направлении формирования нормативной базы; Узбекистан делает ставку на международное партнерство, а Казахстан уже создал институциональные механизмы регионального масштаба.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеева Е.А.* Конкурентоспособность персонала в легкой и текстильной промышленности Республики Беларусь в условиях цифровизации экономики // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 17…22.

2. *Бурденко Е.В.* Применение промышленной политики в Европейском союзе // Дизайн и технологии. 2014. № 42 (84). С. 89…96.

3. *Ванкевич Е.В., Горовой С.О.* Теоретические подходы и прикладные инструменты изучения трудоустройства специалистов текстильной промышленности в Республике Беларусь // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 27…38.

4. *Гитман Е.К., Гитман М.Б.* Дуальные образовательные программы в подготовке специалистов для текстильной промышленности США // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2012. № 6 (342). С. 189…193.

5. *Дегтярев А.Н.* Промышленное производство в странах Евразийского экономического союза и состояние взаимной торговли // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. Т. 242, № 4. С. 269…298.

6. *Долгушин А.Б., Цуканов А.А., Петров А.Д.* Перспективы перехода текстильной промышленности России на экономику замкнутого цикла // Экономика промышленности. 2021. Т. 14, № 4. С. 418…424.

7. *Долженко И.Б.* Развитие американской текстильной и швейной промышленности в современных условиях // Индустриальная экономика. 2024. №3. С. 71…77.

8. *Икрамов М.М.* О стратегии развития текстильной промышленности Республики Узбекистан // Проблемы современной экономики. 2023. № 3 (87). С. 176…179.

9. *Нежникова Е.В., Глюзицкий К.К.* Ретроспективный анализ становления и развития текстильной промышленности России и тенденции развития предприятий отрасли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 13…19.

10. *Руднева А.О.* Ключевые факторы динамики экспортных поставок российского угля в Европу в санкционный период в контексте "зеленой" повестки Европейского Союза // Вестник университета. 2024. № 12. С. 102…114.

11. *Скрипнюк Д.Ф., Смелкова И.Ю., Цзегээр С.* Влияние внутренних и внешних факторов на становление и развитие китайской текстильной промышленности в условиях глобализации экономики // Фундаментальные исследования. 2022. № 12. С. 88…94.

12. *Смагулова К.Р., Досымова О.Ж., Джоланов Е.Е., Кадирбекова А.А.* Развитие текстильной промышленности в Казахстане на базе перспективного овцеводства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 2 (386). С. 31…35.

13. *Турсунов Б.О.* Зависимость циклической динамики текстильной промышленности Республики Узбекистан от динамики промышленного производства // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2021. № 2. С. 156…165.

14. *Чжэн Ж., Никитина Л.Н.* Инвестиции в легкую промышленность как инструмент эффективного управления инновациями в отрасли // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 26. № 4. С. 34…40.

15. *Peng Wei, Ochilov Akram, Mirzaev Kulmamat etc.* Operational management science of sustainable brick manufacturing using fluoride-enriched marble slurry and parthenium weeds, Fluoride Volume 57, Issue 82024 Article number e273, Document type: Article, Source type: Journal, ISSN: 00154725, Publisher: International Society for Fluoride Research, CODEN: FLUOA, Original language: English.

R E F E R E N C E S

1. *Alekseeva E.A.* Competitiveness of staff in textile and light industry of the Republic of Belarus in the context of digitalization of the economy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). Pp. 17…22.

2. *Burdenko E.V.* Application of industrial policy in the european union // Design and Technology. 2014. No. 42 (84). Pp. 89…96.

3. *Vankevich E.V., Gorovoy S.O.* theoretical approaches and applied tools for studying the employment of specialists in the textile industry in the Republic of Belarus // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). P. 27…38.

4. *Gitman E.K., Gitman M.B.* Dual educational programs in teaching specialists for textile industry in USA // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 6(342). P. 189…193.

5. *Degtyarev A.N.* Industrial production in the countries of the eurasian economic union and the state of mutual trade // Scientific Works of the Free Economic Society of Russia. 2023. Vol. 242, No. 4. pp. 269…298.

6. *Dolgushin A.B., Tsukanov A.A., Petrov A.D.* Prospects for the transition of the Russian textile industry to a closed-loop economy // Industrial Economics. 2021. Vol. 14, No. 4. pp. 418…424.

7. *Dolzhenko I.B.* Development of the american textile and garment industry under modern conditions // Industrial Economy. 2024. No. 3. Pp. 71…77.

8. *Ikramov M.M.* On the strategy for developing the textile industry of the Republic of Uzbekistan // Problems of Modern Economy. 2023. No. 3 (87). Pp. 176…179.

9. *Nezhnikova E.V., Glyuzitsky K.K.* Retrospective analysis of the formation and development of the textile industry of Russia and trends in the development of industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. No. 1 (385). P. 13…19.

10. *Rudneva A.O.* Key factors in the dynamics of russian coal exports to europe during the sanctions period in the context of the European Union's green agenda // University Bulletin. 2024. No. 12. P. 102…114.

11. *Skripnyuk D.F., Smelkova I.Yu., Tszege'er S.* Influence of internal and external factors on the formation and development of the chinese textile industry in the context of economic globalization // Fundamental Research. 2022. No. 12. Pp. 88…94.

12. *Smagulova K.R., Dosymova O.Zh., Dzholanov E.E., Kadirbekova A.A.* Development of textile industry in Kazakhstan on the basis of perspective sheep breeding // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. No. 2 (386). Pp. 31…35.

13. *Tursunov B.O.* Dependence of the cyclic dynamics of the textile industry of the Republic of Uzbekistan on the dynamics of industrial production // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 2. pp. 156…165.

14. *Zheng J., Nikitina L.N.* Investments in light industry as a tool for effective innovation management in the industry // News of higher educational institutions. Light industry technology. 2014. Vol. 26, No. 4. pp. 34…40.

15. *Peng Wei, Ochilov Akram, Mirzaev Kulmamat etc.* Operational management science of sustainable brick manufacturing using fluoride-enriched marble slurry and parthenium weeds, Fluoride Volume 57, Issue 82024 Article number e273, Document type: Article, Source type: Journal, ISSN: 00154725, Publisher: International Society for Fluoride Research, CODEN: FLUOA, Original language: English.

Рекомендована кафедрой экономики устойчивого развития и природопользования МГУ им. М.В. Ломоносова. Поступила 18.03.26.

УДК 332.146.2:677(479.24)
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_61

ЦИФРОВЫЕ МАРКЕТИНГОВЫЕ СТРАТЕГИИ КАК ДРАЙВЕР УСТОЙЧИВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

DIGITAL MARKETING STRATEGIES AS DRIVER OF SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT IN AZERBAIJAN

Ф.Д. КЕРИМОВ, А.А. МАММАДЛИ, С.Ф. БАБАКИШИЕВА, ДЖ.Ф. ТАХИРЗАДЕ, И.Д. КЕРИМОВА, Х.Р. ДЖАФАРОВА

F.J. KARİMOV, A.A. MAMMADLI, S.F. BABAKISHIYEVA, C.F. TAHIRZADE, I.J. KARIMOVA, KH.R. JAFAROVA

(Азербайджанский технологический университет)

(Azerbaijan Technological University)

E-mail: f.kerimov@atu.edu.az, a.mammadli@atu.edu.az, s.babakishiyeva@atu.edu.az

В статье рассматривается синергия технологических решений Индустрии 4.0 и цифровых маркетинговых стратегий в рамках текстильных кластеров Азербайджана. Целью данного исследования является анализ потенциала развития региональных кластеров легкой промышленности в Азербайджане и определение стратегических направлений оптимизации промышленной политики на региональном уровне. Методологическую базу работы составили методы статистического и сравнительного анализа, оценка кластерных индикаторов и эконометрическое моделирование. На основе официальных статистических данных проведена оценка уровня кластеризации различных экономических регионов страны. В результате исследования выявлена значительная диспропорция в развитии регионов: Баку-Апшеронский район демонстрирует наивысшие показатели за счет развитой инфраструктуры и концентрации человеческого капитала, в то время как Аранский и Ленкорань-Астаринский регионы отстают из-за структурных ограничений. Новизна работы заключается в комплексном анализе механизмов формирования кластеров в условиях переходной экономики Южного Кавказа, что ранее недостаточно освещалось в литературе. Предложены рекомендации по усилению региональной специализации, институциональной поддержке и стимулированию экспортно ориентированного производства в текстильной и легкой промышленности. Реализация предложенного кластерного подхода позволит существенно повысить производительность труда и обеспечить устойчивое развитие регионов Азербайджана.

The article examines the synergy of technological solutions of Industry 4.0 and digital marketing strategies within the framework of textile clusters in Azerbaijan. The purpose of this study is to analyze the development potential of regional clusters of light industry in Azerbaijan and identify strategic directions for optimizing industrial policy at the regional level. The methodological basis of the work consists of methods of statistical and comparative analysis, assessment of cluster indicators and econometric modeling. Based on official statistical data, the level of clustering in various economic regions of the country has been assessed. The study revealed a significant disproportion in the development of regions: the Baku-Absheron region demonstrates the highest indicators due to its developed infrastructure and concentration of human capital, while the Aran and Lankaran-Astara regions lag behind due to structural constraints. The scientific novelty of the work consists in a comprehensive analysis of the mechanisms of cluster formation in the conditions of the transitional economy of the South Caucasus, which was previously insufficiently covered in the literature. The practical significance of the findings lies in the development of recommendations for strengthening regional specialization, institutional support and promotion of export-oriented production in the textile and light industries. The implementation of the proposed cluster approach will significantly increase labor productivity and ensure the sustainable development of the regions of Azerbaijan.

Ключевые слова: цифровой маркетинг, маркетинговые инструменты, легкая промышленность, конкурентоспособность, брендинг, цифровая трансформация.

Keywords: digital marketing, marketing tools, light industry, competitiveness, branding, digital transformation.

В условиях глобальной экономической трансформации и усиления конкуренции на мировых рынках стратегия диверсификации национальной экономики становится приоритетной задачей для Азербайджанской Республики [1…3]. В контексте реализации государственных программ по социально-экономическому развитию регионов особая роль отводится легкой промышленности как трудоемкому и инновационно ориентированному сектору. Реализация концепции кластеризации позволяет интегрировать ресурсы хлопково-текстильного и шелководческого секторов, создавая замкнутые циклы производства с высокой добавленной стоимостью [4]. Переход от традиционных моделей управления к кластерному подходу рассматривается как ключевой механизм повышения конкурентоспособности текстильного и швейного производств, обеспечивающий синергию между наукой, образованием и бизнесом [5…7].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью глубокого анализа влияния промышленных кластеров на устойчивое развитие регионов Азербайджана. Несмотря на значительный ресурсный потенциал и наличие исторических традиций в хлопководстве и шелководстве, потенциал формирования полноцикловых цепочек добавленной стоимости внутри страны используется не в полной мере. Теоретические основы кластерного развития заложены в трудах М. Портера, а их адаптация к текстильной отрасли рассматривалась в работах зарубежных и отечественных исследователей, к примеру, в работах ученых ИВГПУ, занимающихся вопросами эффективности текстильных кластеров [8]. В контексте Азербайджана значительное внимание уделяется институциональным аспектам развития ненефтяного сектора, однако вопросы прямого влияния текстильных объединений на региональную устойчи-

вость зачастую рассматриваются фрагментарно. Современная научная литература [9…11] подтверждает, что кластеризация способствует не только росту производственных показателей, но и решению острых социальных задач: созданию качественных рабочих мест, развитию инфраструктуры и снижению диспропорций в региональном развитии.

Однако специфические особенности формирования кластеров легкой промышленности в условиях экономики Азербайджана, характеризующейся переходом к "зеленым" технологиям и цифровизации (Индустрия 4.0), остаются недостаточно изученными [12, 13]. В рамках данного исследования концепция "Индустрии 4.0" рассматривается не просто как автоматизация цехов, а как создание "цифровой нити". Она связывает датчики IoT (Internet of Things) на ткацком оборудовании с CRM-системой. Это позволяет маркетинговому блоку в реальном времени видеть остатки готовой продукции и прогнозировать сроки отгрузки для B2B-клиентов, исключая риск out-of-stock при проведении активных SMM-кампаний [14, 15]. Остаются недостаточно исследованными механизмы адаптации локальных предприятий к стандартам устойчивого развития (ESG) и цифровой трансформации в рамках кластерных инициатив. Отсутствие комплексной методики оценки социального эффекта от создания текстильных парков в малых городах республики создает барьеры для эффективного государственного планирования. Существует объективная потребность в разработке методологических подходов к оценке социально-экономической эффективности таких объединений с учетом локальных факторов.

Цифровые стратегии выступают драйвером развития, так как позволяют в реальном времени корректировать производственные планы текстильных предприятий на основе данных SMM-аналитики, минимизируя складские остатки и повышая эффективность использования сырья (хлопка и шелка) [16, 17].

Целью данной работы является исследование механизмов воздействия кластеров легкой промышленности на социально-экономическую стабильность регионов Азербайджана и обоснование рекомендаций по их развитию как фактора устойчивого роста. Для достижения поставленной цели в работе решаются задачи по анализу текущего состояния отрасли, выявлению структурных связей внутри существующих кластеров и моделированию их влияния на ключевые показатели регионального благосостояния.

Процесс исследования реализован в три этапа:

1. *Кластерный анализ и оценка концентрации*. Для идентификации потенциальных кластеров легкой промышленности использован расчет коэффициента локализации (LQ) по численности занятых и объему отгруженной продукции в 10 экономических районах Азербайджана.

2. *Эконометрическое моделирование*. Оценка социально-экономического воздействия проведена с использованием многофакторной регрессионной модели, где в качестве зависимых переменных выступали уровень среднемесячной заработной платы в регионе и индекс промышленного производства, а в качестве независимых – объем инвестиций в основной капитал текстильных предприятий и плотность малых и средних предприятий (МСП) в секторе [18].

Для оценки влияния факторов цифровизации и кластеризации на экономическое благосостояние регионов построена линейная многофакторная регрессия вида:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \varepsilon,$$

где Y – индекс промышленного производства региона в % к предыдущему году; X_1 – уровень кластеризации региона (LQ); X_2 – инвестиции в информационные технологии и цифровой маркетинг, млн манат; X_3 – доля предприятий кластера, использующих CRM-системы, %.

3. *Визуализация и графический анализ*. Для систематизации маркетинговых факторов конкурентоспособности применен метод построения иерархических структур (рис. 1).



Рис. 1



Рис. 2

Информационной базой послужили официальные данные Государственного комитета статистики Азербайджанской Республики за период 2018-2024 гг. Выборка охватила показатели 45 крупных и средних предприятий текстильного и швейного производства, а также данные по 5 промышленным паркам и кварталам (включая Сумгаитский химический промышленный парк и Мингячевирский промышленный парк).

Исследование базируется на гипотезе о том, что формирование кластеров с полным циклом (от переработки хлопка-сырца до выпуска готовой продукции с применением цифрового маркетинга) обеспечивает рост регионального ВРП на 12…15% выше, чем при традиционной модели экспорта сырья. Условия проведения экспериментов по внедрению цифровых инструментов (рис. 2) моделировались на основе кейс-стади предприятий-резидентов промышленных зон с использованием инструментов Google Analytics и CRM-систем для оценки вовлеченности клиентов [14, 19].

В ходе исследования установлено, что в структуре маркетингового продвижения предприятий легкой промышленности Азербайджана доминирует маркетинг в социальных сетях (35%) и традиционная реклама (25%) (рис. 3). Это подтверждает гипотезу о высокой значимости цифровых каналов для B2C-сегмента текстильной отрасли.

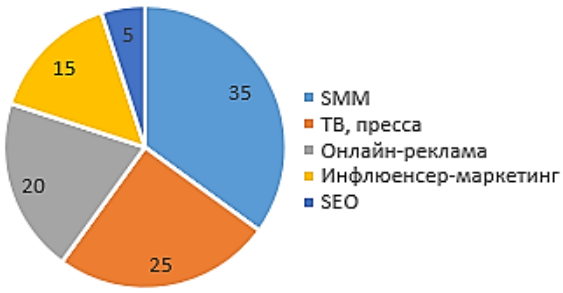


Рис. 3

Анализ данных, представленных на рис 4 (сравнительная динамика показателей эффективности сбыта текстильных кластеров: 2019 г. – базовая точка "до", 2023 г. – отчетный период "после" введения цифровой стратегии), демонстрирует существенный положительный сдвиг по всем ключевым метрикам. Значения в графе "прирост" отражают абсолютный прирост показателей в процентных пунктах относительно базисного периода. Так, объем реализации увеличился на 80 п.п. (с 45% до 125% от плановых мощностей), что свидетельствует о ликвидации складских остатков и переходе к модели работы по предза-

казам. Узнаваемость бренда и вовлеченность аудитории выросли на 45 п.п. и 70 п.п. соответственно, что подтверждает эффективность выбранных SMM-каналов.

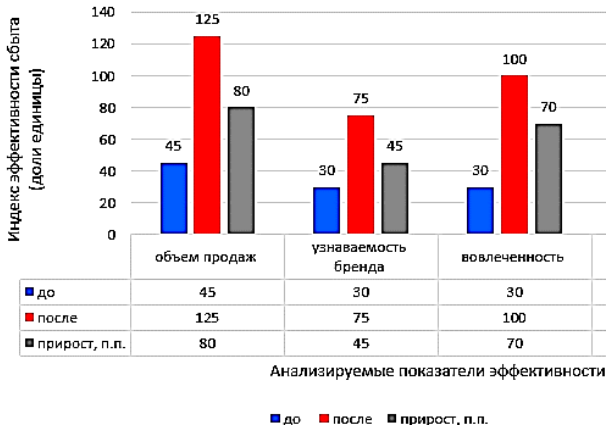


Рис. 4

Эти данные свидетельствует о том, что кластерная интеграция, подкрепленная единой цифровой стратегией, позволяет локальным производителям эффективнее конкурировать с импортной продукцией на внутреннем рынке.

Особое место в модели занимает интеграция AI-алгоритмов в процесс проектирования коллекций. Использование генеративного дизайна и предиктивной аналитики (анализ трендов в соцсетях через Google Analytics и специализированные AI-платформы) позволяет сократить цикл Time-to-Market (от эскиза до полки) на 30…40%.

На этапе дизайна AI анализирует предпочтения потребителей, выявленные маркетинговым блоком, и автоматически корректирует параметры лекал или принтов (хлопок/шелк), что минимизирует объем неликвидных запасов на складах резидентов промпарков [20, 21].

Для количественного подтверждения выдвинутых гипотез нами была построена модель. Результаты расчетов параметров модели на основе данных за 2018-2024 гг. представлены в табл. 1.

Таблица 1

Регион (экономический район)	Уровень кластеризации (LQ)	Доля предприятий с CRM, %	Рост производительности труда, %	Адаптивность к спросу (высокая / средняя / низкая)
Баку-Апшерон	1,45	68	+22,4	Высокая
Аранский	0,92	15	+8,1	Средняя
Гянджа-Дашкесан	1,15	32	+14,5	Средняя
Ленкорань-Астаринский	0,78	10	+5,2	Низкая

Рассчитанный коэффициент локализации (LQ) для Баку-Апшеронского региона составил 1,45, что, согласно методологии Майкла Портера и современным эконометрическим стандартам (LQ>1,25), классифицирует данную территорию как зрелый промышленный кластер с глубокой специализацией и высоким экспортным потенциалом.

Сформированная концептуальная модель (рис. 5) демонстрирует, что конкурентоспособность предприятия в рамках кластера является производной от синергии каналов дистрибуции, ценовой стратегии и цифрового маркетинга.

На рис. 5 представлена авторская концептуальная модель, демонстрирующая иерархию факторов конкурентоспособности в современных условиях.



Рис. 5

Согласно рис. 5 наиболее значимым фактором влияния признан именно цифровой маркетинг (уровень влияния >90%), опережающий даже качество продукции и

имидж бренда [22…25]. Это объясняется высокой плотностью информационного поля и необходимостью быстрого вывода новых коллекций на рынок. В отличие от традиционных моделей, где доминирует качество товара, в условиях цифровой трансформации Азербайджана ключевым драйвером (с весом влияния более 90%) становится цифровой маркетинг. Это обусловлено необходимостью оперативного реагирования на изменения спроса и высокой скоростью обновления коллекций (Fast Fashion) в рамках кластера.

Среди инструментов цифровой стратегии (рис. 5) наибольшую долю занимает SMM (30%) и онлайн-реклама (25%), что коррелирует с региональной спецификой потребления медиаконтента в Азербайджане. Показатель "адаптивность к спросу" получен расчетно-аналитическим путем на основе метода экспертных оценок. В опросе приняли участие 12 топ-менеджеров предприятий легкой промышленности и 5 профильных экспертов Ассоциации производителей текстиля Азербайджана. Оценка проводилась по 10-балльной шкале (где 10 – мгновенная реакция производства на изменение потребительских трендов через цифровые каналы) с последующим расчетом средневзвешенного коэффициента для каждого региона.

Полученные результаты подтверждают основную гипотезу исследования: кластеризация легкой промышленности, основанная на переходе к модели "Индустрия 4.0" и активном использовании CRM-инструментов (табл. 2), обеспечивает устойчивый социально-экономический эффект. В регионах с высоким уровнем кластеризации (Баку-Апшерон) наблюдается более высокая адаптивность предприятий к изменениям спроса по сравнению с дотационными регионами (Аран, Ленкорань).

Таблица 2

Переменная	Коэффициент (β)	Стандартная ошибка	t-статистика	p-значение
Константа (β_0)	10,42	2,15	4,85	0,001
Уровень кластеризации (X_1)	0,45	0,08	5,62	<0,001
Инвестиции в маркетинг (X_2)	0,28	0,06	4,66	0,002
Доля CRM (X_3)	0,15	0,04	3,75	0,005

Статистические характеристики модели: R-квадрат (R^2): 0,82 – модель объясняет 82% вариации зависимой переменной; F-статистика: 24,15 – модель статистически значима на уровне 1%.

Основным ограничением исследования является высокая волатильность цен на сырье (хлопок, шелк) на мировых рынках, что затрудняет долгосрочное прогнозирование эффективности только лишь за счет маркетинговых инструментов. Кроме того, выявленная диспропорция в развитии инфраструктуры регионов создает барьеры для масштабирования успешных кейсов Бакинского региона на периферию. Особого внимания заслуживают результаты анализа Гянджа-Дашкесанского экономического района. Несмотря на высокий коэффициент локализации (LQ=1,15), указывающий на исторически сложившуюся производственную базу и значительную концентрацию текстильных мощностей, показатель адаптивности к спросу остается на "среднем" уровне.

Данный разрыв объясняется двумя факторами:

1. *Технологическая инерция*. Высокий LQ в данном регионе обеспечен преимущественно крупными традиционными предприятиями, чьи производственные циклы ориентированы на долгосрочные государственные кон-тракты или B2B-сегмент с низкой эластичностью, что снижает стимулы для внедрения гибких SMM-стратегий и оперативной подстройки под розничные тренды (B2C).

2. *Цифровой разрыв в кадрах*. В отличие от Баку-Апшеронского региона, здесь наблюдается дефицит специалистов на стыке текстильных технологий и Data-аналитики, что затрудняет конвертацию производственного потенциала в цифровые продажи.

Таким образом, для Гянджа-Дашкесанского кластера рекомендуется переход от модели "масштабного производства" к модели "умного производства" (Smart Manufacturing) с интеграцией сквозных цифровых систем управления сбытом.

Практическое применение и будущие исследования:

1. Для органов власти рекомендуется стимулировать создание региональных брендов под эгидой "Made in Azer-baijan" с использованием выявленных наиболее эффективных каналов (SMM, SEO).

2. Для бизнеса необходимо сместить акцент с традиционной рекламы на инфлюенсер-маркетинг (текущая доля 15%, рис. 3) как инструмент с высоким потенциалом роста.

Направления будущих исследований могут быть связаны с изучением влияния "зеленых" технологий (ESG-стандартов) на экспортный потенциал текстильных кластеров Азербайджана согласно системе национальных счетов, а также с разработкой алгоритмов искусственного интеллекта для прогнозирования потребительского спроса в рамках текстильных технопарков.

Проведенное исследование позволило комплексно оценить потенциал кластеризации легкой промышленности Азербайджана через призму современных маркетинговых трансформаций. На основе анализа статистических данных и результатов моделирования сделаны следующие выводы:

1. *Приоритетность цифровой среды*. Установлено, что классические методы продвижения текстильной продукции теряют эффективность, уступая место интегрированным цифровым стратегиям. Доминирование SMM и онлайн-рекламы в структуре коммуникаций (суммарно более 55%) определяет новую парадигму взаимодействия производителей с потребителями в рамках региональных кластеров.

2. *Синергетический эффект интеграции*. Апробация предложенных маркетинговых инструментов показала кратную динамику роста узнаваемости локальных брендов и уровня вовлеченности целевой аудитории. Это подтверждает, что объединение предприятий в кластеры позволяет аккумулировать ресурсы для реализации дорогостоящих высокотехнологичных рекламных кампаний, недоступных отдельным малым предприятиям.

3. *Региональные драйверы роста*. Выявлена прямая зависимость между уровнем цифровизации маркетинговой деятельности и экономическими показателями текстильных зон. Наиболее устойчивыми к рыночным колебаниям оказались структуры, внедрившие сквозную аналитику и CRM-системы, что позволило им сократить дистанцию между производством и конечным спросом.

4. *Стратегический вектор*. Для нивелирования выявленных межрегиональных диспропорций необходимо масштабировать успешный опыт цифрового продвижения Баку-Апшеронского региона на другие экономические районы. Ключевым фактором долгосрочной конкурентоспособности отрасли станет переход от простой реализации сырья к формированию брендированных цепочек добавленной стоимости с высокой лояльностью потребителей.

Сформулированные предложения по использованию инфлюенсер-маркетинга и развитию региональных брендов закладывают основу для разработки государственных программ поддержки легкой промышленности в условиях реализации стратегии "Индустрия 4.0".

Доказано, что синергетический эффект достигается за счет горизонтальной интеграции: AI в дизайне снижает риски рыночного неприятия продукта, а IoT на производстве обеспечивает прозрачность цепочки поставок. Это трансформирует традиционный маркетинг в “Data-driven маркетинг”, где каждое рекламное решение подкреплено производственными мощностями и актуальным потребительским спросом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оборевич А.А., Третьяк О.А.* Маркетинг: эволюция концепций и выявление направлений развития маркетинговых практик // Российский журнал

менеджмента. 2025. №23(2). С. 310…331. – https://doi.org/10.21638/apbu18.2025.209

2. *Стеблякова Л.П., Вечкинзова Е.А., Краснов Е.В.* Маркетинг отношений: развитие теории и практики // Вестник университета. 2023. №8. С. 64…73. – https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-8-64-73

3. *Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Ахмедова М.И. и др.* Совершенствование внешнеэкономических связей Азербайджана в сфере текстильного производства // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №3(417). С. 87…94

4. *Трильо Х.Р., Эррера-Вьедма Э., Моренте-Молинера Х.А., Франсиско Х.К.* Система принятия групповых решений в крупном масштабе, основанная на кластерном анализе настроений // Информационный синтез. 2022. № 91. С. 633…643.

5. *Мамедов Д.Ф., Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И. и др.* Стратегия управления современными технопарками: информационное взаимодействие университета и общества // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №5(419). С. 79…89.

6. *Гусейнов Ю.Р., Мамедова Г.Р., Ахмедова М.И. и др.* Критическое отношение к технопаркам // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №3(405). С. 74…80.

7. *Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И.* Управление университетским технопарком: ключевые критерии успеха // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3(411). С. 65…77.

8. *Бушуева М.А., Масюк Н.Н., Брагина З.В. и др.* Представление бизнес-модели текстильного кластера как инновационной сетевой экосистемы // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №1(367). С. 10…17.

9. *Кадацкая Д.В., Лаврова Ю.С.* Методические подходы к оценке стратегического развития предпринимательства в отрасли легкой промышленности как основного драйвера развития региона // Креативная экономика. 2019. №13(7). С. 1483…1494.

10. *Котлер Ф.* Основы маркетинга. Краткий курс: пер. с англ. М.: Изд-во "Уильям", 2007. 656 с. – ISBN 978-5-8459-0376-1.

11. *Мамедов Д.Ф., Абдуллаев К., Алиев И.* Оценка экономической эффективности на этапах проектирования гибких производственных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2021. № 18. С. 26…32.

12. *Афанасьев А.А.* Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России // Вопросы инновационной экономики. 2023. №3. С. 1427…1445. – https://doi.org/10.18334/vinec. 13.3.117880

13. *Санапанг Г.М., Моналиса М., Сьям А. etc.* (2025). Цифровой маркетинг: стратегия и инновации. Pemasaran Digital. PT. Green Pustaka. Индонезия.

14. *Трейнер К.Дж., Андзулис Дж.М., Pann A., Агнихотри Р.* Использование технологий социальных сетей и эффективность взаимоотношений с клиентами // Журнал деловых исследований. 2014. №67(6). С. 1201…1208.

15. *Хомбург К., Йозич Д., Кюнл К.* Управление клиентским опытом: на пути к внедрению развивающейся маркетинговой концепции // Журнал Академии маркетинговых наук. 2015. №45(1). Р. 377…401. – DOI: 10.1007/s11747-015-0460-7

16. *Ведель М., Каннан П.К.* Маркетинговая аналитика для сред с большим объемом данных // Журнал маркетинга. 2016. №80(6). С. 97…121.

17. *Раст Р.Т., Лемон К.Н., Зейтамл В.А.* Рентабельность маркетинга: использование клиентского капитала для оптимизации маркетинговой стратегии // Журнал маркетинга. 2004. №68(1). С. 109…127.

18. *Сетини С., Амерта С.М.И., Индиани П.Л.Н. и др.* Стратегия цифрового маркетинга как катализатор роста малых и средних предприятий в современную эпоху // EKOMBIS REVIEW: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis. 2025. №13(1). Р. 951…966. – DOI: 10.37676/ekombis.v13i1.7888

19. *Керимова М., Керимов Ф., Гаджиева Н. и др.* Маркетинговые инструменты для формирования влияния на продуктовую политику // TEC Empresarial. 2025. №20(1). С. 117…127.

20. *Маммадов Дж., Гусейнов Ю., Ахмедова М. и др.* Разработка маркетинговой стратегии эффективного управления информационной средой технопарка // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. 2025. №3(13 (135)). С. 26…34.

21. *Оруджева Г., Агаев У., Гянджалиева Г. и др.* Моделирование мобильного промышленного робота для инновационного строительства, применяемого в технологическом парке // Междунар. конф. по автоматике и информатике (ICAI). Варна, Болгария, 2025.

22. *Кумар В.* Эволюция маркетинга как дисциплины: что произошло и на что следует обратить внимание // Журнал маркетинга. 2015. №79(1). С. 1…9.

23. *Дунаев И., Громов С., Тымченко Ю., Проскурина М.* Объяснение роли цифровых технологий в маркетинговом управлении современной компании // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. 2022. №5 (13 (119)). С. 89…99.

24. *Хадияти Э., Мулионо С. и Гунади Г.* Цифровой маркетинг как определяющий фактор повышения эффективности бизнеса // Инновационный маркетинг. 2024. №20(3). С. 28…41.

25. *Вериссимо Ж.М., Тиаго Т.* Цифровой маркетинг и социальные сети: зачем это нужно? // Business Horizons. 2014. №57(6). С. 703…708.

REFERENCES

1. *Oborevich A.A., Tretyak O.A.* Marke-ting: evolution of conceptual approaches and identification of trends in marketing practices // Russian Management Journal. 2025. №23(2). P. 310…331. – https://doi.org/10.21638/apbu18.2025.209

2. *Steblyakova L.P., Vechkinzova Y.A., Krasnov E.V.* Relationship marketing: development of theory and

practice // Vestnik universiteta. 2023. №8. P. 64…73. – https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-8-64-73

3. *Mamedova Kh.F., Mamedov F.A., Ahmadova M.I. etc.* Improvement of foreign economic relations of Azerbaijan in textile production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. №3(417). P. 87…94.

4. *Trillo J.R., Herrera-Viedma E., Morente-Molinera J.A., Cabrerizo F.J.* A large scale group decision making system based on sentiment analysis cluster // Information Fusion. 2022. № 91. P. 633…643.

5. *Mamedov J.F., Huseynov Y.R., Ahmadova M.I. etc.* Management strategy of modern technology park: information interaction between university and society // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. №5(419). P. 79…89.

6. *Huseynov Y.R., Mammadova G.R., Ahmadova M.I. etc.* Critical attitude to technology park // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №3(405). P. 74…80.

7. *Huseynov Y.R., Ahmadova M.I.* University technology park management: key criteria for success // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. №3(411). P. 65…77.

8. *Bushueva M.A., Masyuk N.N., Bragina Z.V. etc.* Representation of the business model of textile cluster as an innovating network ecosystem // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. №1(367). P. 10…17.

9. *Kadatskaya D.V., Lavrova Y.S.* Methodological approaches to the evaluation of the strategic development of entrepreneurship in light industry as the main driver of the development of the region // Creative Economy. 2019. №13(7). P. 1483…1494.

10. *Kotler P.* Fundamentals of Marketing. Short course Translated from English. Moscow: Publishing house "William", 2007. 656 p. – ISBN 978-5-8459-0376-1.

11. *Mammadov J.F., Abdullayev K. Aliyev I.* Evaluation of economic efficiency at the design stages of flexible manufacturing systems // Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologii. 2021. № 18. P. 26…32.

12. *Afanasev A.A.* Industry 4.0: prospects for digitalizing and transforming Russian industry // Russian Journal of Innovation Economics. 2023. №3. P. 1427…1445. – https://doi.org/10.18334/vinec.13.3.117880

13. *Sanapang G.M., Monalisa M., Syam A. etc.* (2025). Digital Marketing: Strategy & Inovasi Pemasaran Digital. PT. Green Pustaka Indonesia.

14. *Trainor K.J., Andzulis J.M., Rapp A., Agnihotri R.* Social media technology usage and customer relationship performance // Journal of Business Research. 2014. №67(6). P. 1201…1208.

15. *Homburg C., Jozić D., Kuehnl C.* Customer experience management: Toward implementing an evolving marketing concept // Journal of the Academy of Marketing Science. 2015. №45(1). P. 377…401. – DOI: 10.1007/s11747-015-0460-7

16. *Wedel M., Kannan P.K.* Marketing analytics for data-rich environments // Journal of Marketing. 2016. №80(6). P. 97…121.

17. *Rust R.T., Lemon K.N., Zeithaml V.A.* Return on marketing: Using customer equity to focus marketing strategy // Journal of Marketing. 2004. №68(1). P. 109…127.

18. *Setini S., Amerta S.M.I., Indiani P.L.N. etc.* Digital Marketing Strategy As A Catalyst For SME Growth In The Modern Era // EKOMBIS REVIEW: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis. 2025. №13(1). P. 951…966. – DOI: 10.37676/ekombis.v13i1.7888

19. *Kerimova M., Kerimov F., Hajiyeva N. etc.* Marketing tools for forming product policy influence // TEC Empresarial. 2025. №20(1). P. 117…127.

20. *Mammadov J., Huseynov Y., Ahmadova M. etc.* Developing a marketing strategy for efficient management of the information environment of the technology park // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. №3 (13 (135)). P. 26…34.

21. *Orujova G., Agayev U., Genjeliyeva G. etc.* Modeling of the innovation construction mobile industrial robot applied in technology park // International Conference Automatics and Informatics (ICAI). Varna, Bulgaria, 2025.

22. *Kumar V.* Evolution of marketing as a discipline: What has happened and what to look out for // Journal of Marketing. 2015. №79(1). P. 1…9.

23. *Dunayev I., Hromov S., Tymchenko Y., Proskurina M.* Explication of the role of digital technologies in marketing management of a modern company // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. №5 (13 (119)). P. 89…99.

24. *Hadiyati E., Mulyono S. Gunadi G.* Digital marketing as a determinant variable for improving the business performance // Innovative Marketing. 2024. №20(3). P. 28…41.

25. *Veríssimo J.M. & Tiago M.T.* Digital marketing and social media: Why bother? // Business Horizons. 2014. №57(6). P. 703…708.

Рекомендована кафедрой управления и отделом организации и управления научной деятельностью (ОУНД) Азербайджанского технологического университета. Поступила 15.05.26.

УДК 334.722.2
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_70

РАЗВИТИЕ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ: ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СРЕДА

DEVELOPMENT OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN AZERBAIJAN: ECONOMIC ENVIRONMENT

С.Э. МАГЕРРАМОВА[1], Х.Г. ГАДЖИЕВА[2], Г.Ф. КЕРИМЛИ[3], Ф.Н. НАГИЕВА[4], Х.М. ДЖАФАРОВА[1]

S.E. MAHARRAMOVA[1], H.H. HAJİYEVA[2], G.F. KERİMLİ[3], F.N. NAGİYEVA[4], H.M. JAFAROVA[1]

**([1]Азербайджанский технологический университет,
[2]Азербайджанский государственный аграрный университет,
[3]Мингячевирский государственный университет,
[4]Гянджинский государственный университет)**

**([1]Azerbaijan Technological University,
[2]Azerbaijan State Agrarian University,
[3]Mingachevir State University,
[4]Ganja State University)**

E-mail: sekine_1989@mail.ru, haciyeva.hafiza@mail.ru, gunel.karimli@mdu.edu.az

В рамках реализации стратегии диверсификации экономики Азербайджана текстильная промышленность выделена как приоритетное направление для малого и среднего предпринимательства (МСП). Несмотря на наличие собственной сырьевой базы (хлопководство), сектор сталкивается с вызовами модернизации производственных мощностей и адаптации к стандартам мирового рынка. Проведен анализ влияния текущей экономической среды Азербайджана на развитие МСП в текстильной и швейной отраслях, а также оценка эффективности кластерного подхода в легкой промышленности. Выявлено, что создание специализированных промышленных зон (агропарков и текстильных кластеров) позволило снизить операционные издержки малых предприятий на 15…20%. Определена прямая зависимость между льготным кредитованием технологического обновления и ростом экспорта готовой текстильной продукции. Установлены барьеры, ограничивающие интеграцию малых швейных предприятий в глобальные цепочки стоимости. Доказано, что для устойчивого развития текстильного сектора Азербайджана необходимо внедрение механизмов государственно-частного партнерства, ориентированных на поддержку высокотехнологичных малых производств. Предложены рекомендации по совершенствованию нормативно-правовой базы для стимулирования инновационной активности в текстильной индустрии.

As part of the implementation of the Azerbaijani economic diversification strategy, the textile industry has been identified as a priority area for small and medium-sized enterprises (SMEs). Despite the availability of its own raw material base (cotton growing), the sector faces challenges in modernizing production capacities and adapting to global market standards. This article analyzes the impact of the current economic environment in Azerbaijan on the development of SMEs in the textile and clothing industries, and evaluates the effectiveness of the cluster approach in the light industry. It was found that the creation of specialized industrial zones (agroparks and textile clusters) has reduced the operating costs of small enterprises by 15…20%. A direct relationship has been identified between preferential lending for

technological modernization and the growth of exports of finished textile products. Barriers limiting the integration of small clothing enterprises into global value chains have been identified. It has been proven that for the sustainable development of the textile sector in Azerbaijan, it is necessary to introduce the public-private partnership mechanisms aimed at supporting high-tech small industries. Recommendations for improving the regulatory framework to stimulate innovation in the textile industry are proposed.

Ключевые слова: Азербайджан, малый и средний бизнес, текстильная промышленность, экономическая среда, производственные кластеры, модернизация, легкая промышленность, хлопковый сектор.

Keywords: Azerbaijan, small and medium-sized businesses, textile industry, economic environment, production clusters, modernization, light industry, cotton sector.

Одной из главных движущих сил экономического развития является предпринимательство. Предпринимательство включает в себя разработку и внедрение новых идей, а также развитие существующих предприятий и создание новых бизнес-структур. Главная цель этой деятельности – более эффективное удовлетворение потребностей потребителей путем предоставления инновационных продуктов и услуг для достижения лидирующих позиций на рынке. Предприниматели используют управленческие навыки для организации бизнес-процессов, определения стратегий и анализа рыночной конъюнктуры. Принятие решений и принятие рисков в условиях неопределенности – одно из главных требований предпринимательской деятельности. Однако эти риски можно снизить за счет надлежащего планирования и рационального управления. Предприниматели добиваются повышения качества в производственном и сервисном секторах за счет эффективного использования имеющихся ресурсов и обеспечения устойчивого развития бизнеса. Создание новых предприятий создает условия для увеличения занятости, повышения уровня благосостояния населения и увеличения налоговых поступлений в государственный бюджет. При этом предпринимательство играет важную роль в ускорении технологического прогресса и решении социально-экономических проблем [1].

В эпоху современной глобализации ускорение экономического прогресса тесно связано с надлежащей организацией предпринимательской и инвестиционной деятельности. Предпринимательство является основным фактором, обеспечивающим жизнеспособность и развитие экономической системы, создающим условия для формирования новых рабочих мест и внедрения инноваций. Инвестиционная деятельность, помимо поддержки роста предпринимательства, способствует укреплению производственной базы и расширению производственных возможностей.

Развитие ненефтяных секторов, особенно содействие малому и среднему предпринимательству и увеличению инвестиционных потоков, имеет стратегическое значение для экономического развития. Экономические преобразования, проводимые государством, улучшение предпринимательской среды, налоговые и таможенные льготы, а также привлечение иностранных инвестиций привели к значительным достижениям в этой области. В то же время дальнейшее укрепление предпринимательско-инвестиционных связей, расширение инновационного предпринимательства и повышение интереса местных и иностранных инвесторов остаются актуальными темами. Таким образом, анализ перспектив развития предпринимательских и инвести-

ционных связей в азербайджанской экономике на научной основе является важным направлением исследований.

В современных экономических условиях содействие развитию предпринимательства является одним из ключевых факторов устойчивого развития. Предприниматели создают новые рабочие места и ускоряют экономический рост, внедряя инновационные идеи. В частности, малые и средние предприятия вносят значительный вклад в развитие местных рынков и укрепление экономических возможностей регионов.

Теоретические основы исследования предпринимательства как движущей силы экономического прогресса заложены в классических трудах Шумпетера, который определял предпринимателя как ключевого субъекта инновационного развития. В современных условиях вопросы взаимосвязи инвестиционной активности и развития частного сектора в Азербайджане находят отражение в работах ряда исследователей.

Так, вопросы государственного регулирования и механизмов поддержки малого и среднего предпринимательства (МСП) в Азербайджанской Республике подробно рассматриваются в исследовании [2], которое подчеркивает стратегическую роль госсектора в создании благоприятной бизнес-среды. Роль человеческого капитала и цифровизации в повышении эффективности управленческих процессов в компаниях анализируется в работах [3…7].

Проблемы инновационного предпринимательства и формирования конкурентоспособной бизнес-среды в ненефтяном секторе экономики Азербайджана изучались такими авторами, как Ибрагимли В. [8] и Рзаев Р. [9]. В свою очередь, ученые Азербайджана [10] акцентируют внимание на факторах, формирующих инвестиционный имидж страны, и условиях развития экспортного потенциала.

Несмотря на наличие значительного массива исследований, посвященных общим вопросам экономики Азербайджана (например, работа Алиевой Л.Д. [11]), аспекты синергии между инвестиционными потоками и конкретными механизмами устойчивого развития инновационных бизнес-структур в условиях текущей глобализации требуют более глубокого анализа. В частности, остается недостаточно изученным вопрос о том, как налоговые и таможенные льготы трансформируются в долгосрочную устойчивость малых предприятий на региональном уровне [12, 13].

Несмотря на значительные государственные преобразования и введение налоговых льгот, в экономической литературе по-прежнему недостаточно освещен вопрос практической синергии между притоком внешних инвестиций и качественным технологическим обновлением малых предприятий в ненефтяных секторах Азербайджана. Остается открытым вопрос о том, как именно предпринимательские риски в условиях глобальной неопределенности могут быть минимизированы за счет интеграции инновационных инвестиционных инструментов на региональном уровне.

Целью исследования является научный анализ перспектив развития предпринимательско-инвестиционных связей в экономике Азербайджана и определение путей повышения их эффективности для обеспечения устойчивого роста.

В основу данного исследования положен комплексный подход, сочетающий методы теоретического анализа, статистической обработки данных и качественного контент-анализа нормативно-правовой базы.

Основным ограничением данного исследования является использование преимущественно агрегированных статистических данных, что не позволяет провести глубокий микроэкономический анализ отдельных предприятий или секторов.

Для достижения поставленной цели и решения задач использованы следующие методы:

1. Теоретико-методологический анализ. На начальном этапе был проведен критический анализ классических концепций инновационного предпринимательства (в частности, теории Шумпетера) и современных работ азербайджанских исследователей [1, 2]. Это позволило сформировать теоретическую базу для оценки роли малого и

среднего предпринимательства (МСП) в условиях глобализации.

2. Экономико-статистический метод. Использовались количественные показатели развития МСП в Азербайджане за период до 2024-2025 гг. (URL: stat.gov.az (дата обращения: 15.03.2026)). В частности, анализировались данные о кредитовании через Фонд развития предпринимательства (объемом свыше 115 млн манатов женщин-предпринимателей) и динамика создания рабочих мест в ненефтяном секторе [14]. Обработка данных проводилась с применением методов группировки и сравнения для выявления корреляции между государственным стимулированием и устойчивостью бизнес-структур.

3. Системно-структурный подход. Данный метод применялся для классификации ключевых направлений повышения эффективности бизнеса. Выделено и проанализировано четыре стратегических блока: улучшение ликвидности, оптимизация структуры обязательств, совершенствование систем учета затрат и механизмы увеличения прибыли.

4. Метод дедукции и синтеза. При обосновании влияния налоговых и таможенных льгот на региональное развитие использовался логический синтез разрозненных данных о деятельности микро- и малых предприятий. Это позволило сформулировать рекомендации по минимизации рисков в условиях неопределенности.

Информационную основу составили нормативно-правовые акты Азербайджанской Республики, данные государственных программ поддержки бизнеса и отчетные материалы профильных ведомств. Для обработки текстовой и числовой информации использовалось стандартное программное обеспечение для офисного анализа (пакет MS Office), что предоставило возможность воспроизведения логических выводов исследования при наличии аналогичного массива статистических данных.

На фоне расширения глобальной торговли и давления свободного рынка предприятия, ориентированные исключительно на местный рынок, не могут обеспечить свою долгосрочную устойчивость. Инновации, разработка новых продуктов и услуг, расширение экспортных возможностей и установление международных стратегических партнерств являются залогом успеха.

Внедрение новых технологий и совершенствование продуктов и услуг увеличивают рыночную долю компаний. Субсидируемые финансовые инструменты, инкубаторные и акселерационные программы, направленные на развитие малых и средних предприятий, помогают укрепить бизнес в структурном плане. Экономические изменения последних лет и финансовая, юридическая и консультативная поддержка Агентства по МСП создали условия для выхода предпринимателей на новые рынки и расширения экспортных возможностей местных товаров и услуг [11].

Современная рыночная экономика в основном направлена на удовлетворение разнообразных потребностей и запросов членов общества. В то же время в более промышленно развитых странах государство стремится защитить интересы граждан, участвуя в экономических процессах. Такой подход определяет сущность политически ориентированной рыночной экономики.

Предпринимательская деятельность тесно связана с фиксированными издержками, без которых невозможно обеспечить развитие бизнеса. Часто издержки превышают доходы от продажи товаров и услуг, и этот период может быть коротким или длинным в зависимости от объема и характера деятельности. Предприниматель, желающий получать высокий доход, должен делать дополнительные инвестиции и тратить больше [15].

Быстрые изменения, происходящие в современном мире, оказали значительное влияние на традиционное положение женщин в обществе. В результате этого процесса расширилось участие женщин в общественной и экономической жизни, и их активное вовлечение в предпринимательскую деятельность стало одним из главных заметных изменений. Несмотря на существующие трудности в сфере предпринимательства в нашей стране, наблюдается не-

прерывный рост числа женщин-предпринимателей. Вовлечение женщин в предпринимательскую деятельность, помимо альтернативных возможностей трудоустройства, приводит к увеличению их экономической активности и укреплению их роли в деловой среде. В этой связи уровень участия женщин в экономических процессах и их вклад в национальное экономическое развитие определены как одно из главных направлений исследования. При этом целью научного исследования является выявление общих тенденций в этой области.

В настоящее время женщины составляют примерно одну пятую часть лиц, занятых индивидуальным предпринимательством в стране. Развитие женского предпринимательства регулярно поддерживается как одно из приоритетных направлений государственной политики. Сегодня женщины в основном преуспевают в сфере малого и среднего бизнеса, а в будущем ожидается, что они будут активнее участвовать в крупных бизнес-структурах и укреплять свои позиции [14]. На рис. 1 представлена диаграмма удельного веса количества человеко-часов, отработанных женщинами на микро-, малых и средних предприятиях, в общем количестве человеко-часов, отработанных на всех действующих микро-, малых и средних предприятиях, тыс. чел.-ч. (https://www.stat.gov.az/source/entrepreneurship/).

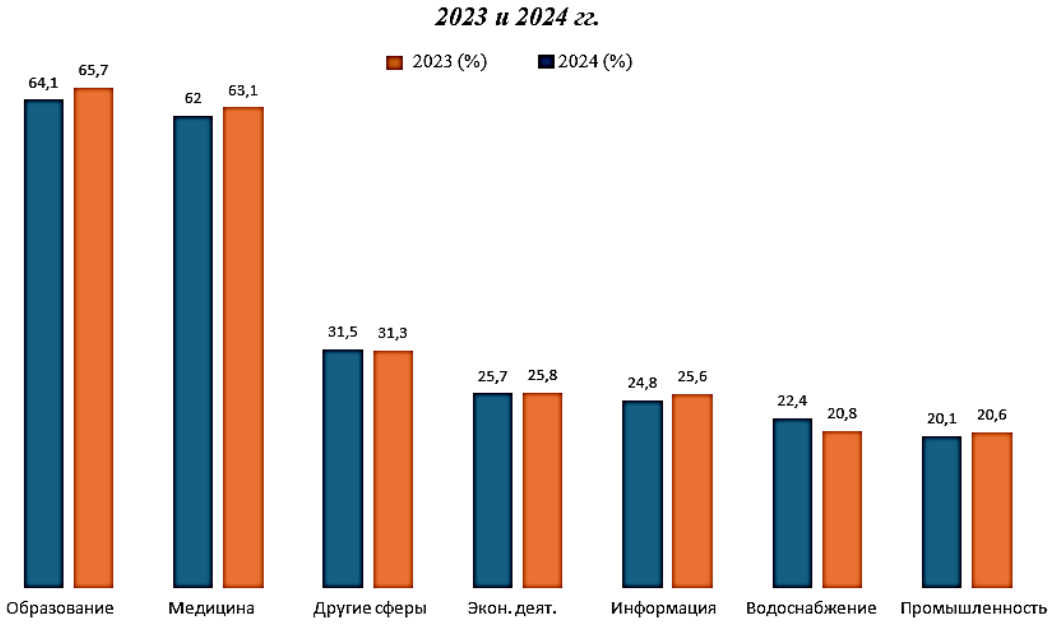


Рис. 1

Главное отличие успешных предприятий заключается в разработке правильных стратегий и их эффективной реализации [4, 7]. Владельцы и руководители малых и средних предприятий должны постоянно совершенствовать свои знания, по возможности привлекать профессиональных экспертов или сотрудничать с внешними финансовыми консультантами. Финансовое управление является важной функцией для малых предприятий, а прибыль, объем продаж и расширение клиентской базы требуют тщательной оценки финансовых показателей [17]. Стратегическое финансовое управление предпочитает согласование финансовых решений с долгосрочными бизнес-планами [18].

Главная цель финансового управления – повышение финансовой стабильности и благосостояния предприятия; это достигается главным образом за счет увеличения прибыли и ликвидности. В крупных компаниях главная цель – максимизация акционерной стоимости. В малых и средних предприятиях финансовое управление должно осуществляться практичными и применимыми способами, обеспечивая эффективность и конкурентоспособность опе-

раций. Стратегическое финансовое управление развилось как альтернативный метод решения финансовых проблем для малых и средних предприятий и с 2010 года стало предметом интереса ученых в контексте устойчивости и развития бизнеса. Такой подход позволяет малым предприятиям внедрять финансовое управление более стратегическим и ориентированным на развитие образом в отличие от традиционных методов [17, 18].

Кабинет Министров Азербайджанской Республики 21 декабря 2018 года принял Постановление №556, устанавливающее "Критерии классификации микро-, малых, средних и крупных предприятий". Согласно этому Постановлению, классификация предприятий на микро-, малые, средние и крупные категории осуществляется с учетом численности сотрудников и показателей годового дохода. Соответствующие критерии представлены в табл. 1 (https://www.economy.gov.az/az/page/sahibkarliq/sahibkarliq subyektlerinin-bolgusu).

Таблица 1

Категории бизнес-субъектов по объему	Среднее количество сотрудников (человек)	Годовой доход (гд) (тысячи манатов)
Микропредприниматель	1...10	гд≤200
Малый предприниматель	11...50	200<гд≤3000
Средний предприниматель	51...250	3000<гд≤30000
Крупный предприниматель	251 и больше	30000<гд

Классификация хозяйствующих субъектов определяется Государственным статистическим комитетом Азербайджанской Республики и Министерством труда и социальной защиты населения АР, и эта классификация остается стабильной в течение года. В качестве основы для определения соответствующих категорий вновь созданных хозяйствующих субъектов принимается численность работников, определенная в течение одного года с даты их государственной регистрации или налогового учета.

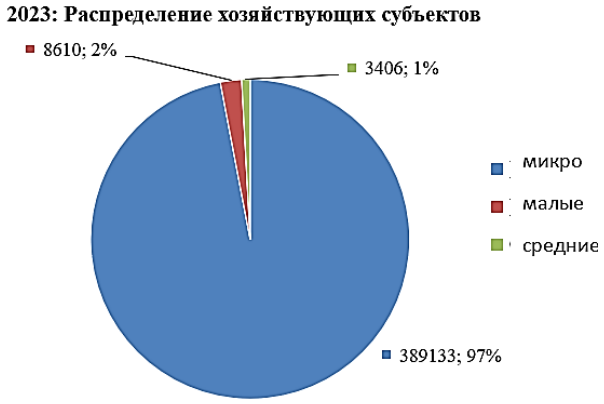


Рис. 2

В 2023 году действовало 401149 субъектов предпринимательской деятельности (URL: stat.gov.az (дата обращения: 15.03.2026)): 11,9% составляли юридические лица, 88,1% – индивидуальные предприниматели. На долю микропредпринимателей приходилось 97,1% от общего числа, а доля малых и средних предпринимателей составляла 2,1% и 0,85% соответственно (рис. 2 – количество действующих предприятий за 2023 год).



Рис. 3

В 2024 году число субъектов увеличилось до 424437 (URL: stat.gov.az (дата обращения: 15.03.2026)): доля юридических лиц составила 11,4%, а доля индивидуальных предпринимателей – 88,6%. Доля микропредпринимателей составила 96,8%, а доля малых и средних предпринимателей – 2,3%

и 0,89% (рис. 3 – количество действующих предприятий за 2024 год).

В целом индивидуальные и микропредприниматели по-прежнему составляют основную часть рынка, в то время как доля малых и средних предприятий незначительно увеличилась. Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что существующие меры поддержки недостаточны для качественного перехода микробизнеса в средний сегмент.

Следует отметить, что микропредприятия обладают количественным преимуществом не только среди действующих хозяйствующих субъектов, но и среди вновь зарегистрированных малых предприятий, что ясно указывает на их возрастающую роль в экономических системах. Микропредприятия, работающие в секторе малого бизнеса, наряду с крупными предприятиями, в основном располагаются в экономической среде; они также занимают важное место в механизмах адаптации благодаря частичной "теневой" форме хозяйственной деятельности. Промышленно-производственные характеристики микропредприятий таковы, что они не требуют от новых предпринимателей высокого уровня технических знаний и специализации в процессе их создания и управления, что является одним из главных факторов, обеспечивающих широкое распространение микропредприятий. Кроме того, микропредприятия способны привлекать первоначальные финансовые ресурсы для начала своей деятельности, что создает возможности для людей с ограниченным доступом к финансовым ресурсам. В качестве исключения можно отметить сферу науки и научных услуг, которая, несмотря на потенциал приобретения дополнительных знаний и интеллектуального спроса на эти цели, все же использует микропредприятия для реорганизации своей деятельности. Именно это формирует структуру предприятий, поддерживающих предпринимательство, и становится основным носителем экономической активности.

Следовательно, с социально-экономической точки зрения микропредприятия играют решающую роль в обеспечении самозанятости населения, особенно в сельской местности, малых городах и мегаполисах, и вносят значительный вклад в устранение существующей в этих регионах экономической стагнации, а также в решение проблем реструктуризации и диверсификации производственных и хозяйственных направлений [19].

Малые и средние предприятия (МСП) являются одним из главных столпов развития современной экономики. Этот сектор вносит значительный вклад в диверсификацию экономической деятельности, расширение возможностей трудоустройства населения и внедрение инновационных технологий. Поскольку развитие ненефтяного сектора является одной из стратегических целей Азербайджана, поддержка малых и средних предприятий рассматривается как приоритетное направление государственной политики. В последние годы правительство Азербайджана выдвинуло ряд законодательных инициатив по содействию развитию этого сектора и реализовало комплексные меры, направленные на улучшение деловой среды. Микро-, малые и средние предприятия в Азербайджане играют важную роль в диверсификации и устойчивом развитии экономики. В последние годы реализован ряд правовых и экономических мер и усилена государственная поддержка для обеспечения прогресса этого сектора, однако сохраняются такие трудности, как ограниченный доступ к финансовым ресурсам, ограниченные рыночные возможности, административные препятствия и часто меняющееся законодательство. Хотя малый бизнес сталкивается с серьезными проблемами, особенно во время пандемии, льготные кредиты, субсидии и налоговые льготы, предоставляемые государством, создали условия для продолжения деятельности сектора. Однако важно создать более устойчивые и инновационные механизмы поддержки для обеспечения долгосрочного развития предпринимательства. В будущем снижение налогового бремени, увеличение финансовой поддержки, содействие венчурному капиталу и дальнейшая либерализация деловой среды могут внести существенный вклад в развитие малого предпринимательства. Но есть необходимость в конкретиза-

ции применяемых мер для регуляторов. В результате постоянной поддержки со стороны государства и активного участия предпринимателей этот сектор сможет занять более прочное и устойчивое положение в азербайджанской экономике [20].

Многие люди, начиная свой бизнес, не вовлечены непосредственно в финансовые вопросы, поскольку не обладают достаточными знаниями и опытом в подготовке и анализе финансовой отчетности, а другие области – управление персоналом, продажи, закупки и производство – полностью занимают их, в результате чего финансовое управление в основном доверяется бухгалтерам. Правильное управление активами является важнейшей составляющей финансового управления, поскольку оно определяет направление развития бизнеса и потенциал роста в долгосрочной перспективе.

Неэффективное управление оборотным капиталом считается основной причиной финансовых проблем МСП. Неудача малого бизнеса происходит не из-за некомпетентности владельцев, а из-за неправильного управления предприятием. Предприниматели обладают лишь частью необходимых знаний и приобретают остальное на собственном опыте. Сегодня предприниматели могут использовать различные возможности финансирования своего бизнеса, такие как кредиты, личные средства и факторинговые услуги. Одна из самых распространенных ошибок – использование краткосрочных кредитов для приобретения основных средств, что оказывает серьезное давление на финансовое положение [17].

Теоретические основы предпринимательства не ограничиваются финансовой поддержкой, но также требуют наличия прочных институциональных структур и формирования надежной теоретической базы. Хотя успех предпринимательской деятельности зависит от индивидуальных характеристик, он напрямую связан с качеством деловой среды, в которой эта деятельность осуществляется. Деловая среда выступает в качестве совокупности правовых, политических, социальных и экономических факторов, создающих основу для развития деятельности предпринимателей и способствующих общему развитию сектора бизнеса. Эта среда также является одним из важных компонентов общественной сферы, которая служит для увеличения национального богатства и повышения общего благосостояния.

В этом контексте одним из главных факторов, влияющих на инновационность и конкурентоспособность предприятий, является совершенствование знаний и навыков предпринимателей в правильном ведении бизнеса. По этой причине развитие образовательной и профессиональной подготовки предпринимателей имеет особое значение. Ведь предприниматели могут более эффективно и целенаправленно управлять своей предпринимательской деятельностью, опираясь не только на практический опыт, но и на теоретические знания. В то же время обеспечение доступа к финансовым ресурсам и оказание систематической поддержки устойчивого развития предпринимательства повышает эффективность финансово-кредитной системы, укрепляет финансовую стабильность предприятий и формирует долгосрочные перспективы развития. В процессе финансирования предпринимательства следует особо подчеркнуть роль венчурного капитала. Так, венчурный капитал создает условия для финансирования инновационных проектов, привлекает предпринимателей к рискованным, но перспективным инициативам и стимулирует реализацию инновационно-ориентированных бизнес-инициатив. В результате как просвещение и повышение осведомленности, так и финансовая поддержка повышают потенциал предпринимателей, позволяют им более гибко и устойчиво действовать в деловой среде и ускоряют инновационное развитие предприятий.

Прямая финансовая поддержка без развития управленческих компетенций малоэффективна для выхода на внешние рынки. Именно синергия между инвестиционными потоками и обучением предпринимателей международным стандартам позволяет трансформировать капитал в глобальные конкурентные преимущества.

Эти факторы, играющие важную роль в развитии предпринимательства, дополнительно усиливаются механизмами институциональной поддержки. В рамках концепции институциональной поддержки особое значение имеет создание специализированных учреждений, таких как Агентство развития малого и среднего бизнеса (KOBIA) и Фонд развития экспорта и инвестиций (АзПромо), для облегчения деятельности предпринимателей и обеспечения их гибкого перемещения в деловой среде. Эти учреждения не только представляют образовательные и обучающие услуги, но и поддерживают предпринимателей материальными ресурсами и капиталом, расширяя их предпринимательские возможности. Кроме того, заслуживают внимания новые модели развития, применяемые в направлении совершенствования предпринимательства в Азербайджане. Так, создание индустриальных парков, агропарков, специальных экономических зон и производственных районов способствует формированию оптимальной и конкурентоспособной производственной среды для хозяйствующих субъектов [3, 7]. Эти инфраструктурные меры, помимо повышения интереса и энтузиазма граждан к предпринимательству, стимулируют их экономическую активность и создают условия для появления новых предпринимательских инициатив [5].

Институциональную поддержку могут оказывать как государственные, так и частные организации. Механизмы, поддерживающие развитие предпринимательства, распространяются не только на государственные структуры, но и включают коммерческие банки, консалтинговые и маркетинговые компании, а также частных инвесторов и бизнес-субъекты, действующие аналогичным образом в рамках формальных и неформальных правил. Такие институты, как правило, объединяются в рамках концепции "межфирменной бизнес-инфраструктуры" и представляют собой совокупность организаций, функционирующих вне рамок собственной деятельности предпринимателей, но повышающих эффективность их работы. Эта инфраструктура, помимо предоставления предпринимателям финансовой и ресурсной поддержки, также создает возможности для облегчения принятия стратегических решений, ускорения их адаптации к рыночным условиям и более эффективного планирования своей деятельности. Отношения, установленные через межфирменную бизнес-инфраструктуру, позволяют предпринимателям более целенаправленно и эффективно осуществлять свою деятельность, адаптироваться к меняющейся рыночной среде и налаживать эффективное взаимодействие с ней. Эта система также позволяет предоставлять предпринимателям необходимые для их стратегического развития информационные, консультационные и обучающие ресурсы. Государственные организации и соответствующие институты рассматриваются как неотъемлемый и важный элемент межкорпоративной инфраструктуры, а их деятельность направлена на поддержание стабильности в бизнес-экосистеме и стимулирование развития. Устойчивое и стабильное развитие современного бизнеса невозможно без активного вмешательства государства. Государство не ограничивается законодательными и регулирующими функциями, но также поддерживает предпринимательскую деятельность посредством защиты конкурентной среды, централизованного осуществления антимонопольной и таможенной политики, бюджетного и финансового планирования, управления денежно-кредитной политикой, координации налоговых механизмов, прогнозирования занятости и трудовой миграции, контроля за аудиторской и оценочной деятельностью, а также финансовых и нефинансовых стимулов, способствующих развитию предпринимательства. Эти меры, помимо повышения финансовой стабильности и производительности предприятий, также вносят существенный вклад в развитие общей бизнес-экосистемы, внедрение инноваций и обеспечение социальной стабильности. В результате механизмы институциональной поддержки, предоставляемые государством и частным сектором, дополняют друг друга и обеспечивают эффективное функционирование и устойчивое развитие малых и сред-

них предприятий в условиях рыночной экономики [11].

Региональное предпринимательство предполагает создание и развитие предприятий, работающих в конкретных географических районах, часто за пределами крупных городов. Это играет важную роль в обеспечении экономического баланса между регионами, создании рабочих мест, содействии инновациям и общем социально-экономическом развитии сообществ. В таких странах, как Азербайджан, где экономика долгое время основывалась на нефтегазовом секторе, а развитие было сосредоточено в столице Баку, развитие регионального предпринимательства имеет стратегическое значение. Стимулирование предпринимательства в регионах позволяет правительствам обеспечить диверсификацию местной экономики, минимизировать миграцию из сельской местности в города и повысить уровень жизни регионального населения. Региональные предприятия, учитывая местные ресурсы и потребности, способны предоставлять товары и услуги, адаптированные к индивидуальным и специфическим нуждам, укреплять социально-экономические связи внутри сообщества и более эффективно использовать существующую рабочую силу. В то же время развитие предпринимательства в регионах укрепляет экономическую стабильность, снижает зависимость от централизованных промышленных структур и создает новые возможности для устойчивого экономического роста. Следовательно, содействие региональному предпринимательству не только приводит к увеличению экономической активности, но и укрепляет социальную стабильность и закладывает основу для инновационного и устойчивого экономического развития страны [12].

Помимо вышеупомянутых институциональных и инфраструктурных мер, важную роль в поддержке предпринимательских субъектов, работающих в приоритетных секторах экономики, играют механизмы государственной финансовой помощи. Эти механизмы считаются важными инструментами укрепления деловой среды, расширения возможностей для предпринимателей и обеспечения устойчивости экономического развития страны. Различные финансовые инструменты, реализуемые Фондом развития предпринимательства, действующим в Азербайджане, особенно в сфере развития малого и среднего предпринимательства, вносят значительный вклад в достижение этих целей. Один из основных механизмов поддержки Фонда – льготные кредиты, которые являются важным источником финансирования для предпринимателей, позволяющим расширять свой бизнес, реализовывать новые проекты и развивать существующие производственные и сервисные сектора. Статистические данные подтверждают эффективность этого механизма. Так, в 2024 году число предпринимательских субъектов, получивших льготные кредиты от Фонда развития предпринимательства, увеличилось на 74,7% по сравнению с 2023 годом (рис. 4 (https://www.economy.gov.az/az/post/2500/sahibkarlar-dovletin-guzestli-maliyye-mexanizmleri-ile-bizneslerini-inkisaf-etdirirler?utm_source)), достигнув 5722, а общая сумма выданных кредитов выросла на 28% до 248,1 млн ман (URL: stat.gov.az (дата обращения: 15.03.2026)). Эти показатели не только демонстрируют эффективность государственной финансовой политики, направленной на развитие предпринимательства, но и наглядно показывают значительный вклад, который она вносит в устойчивое развитие бизнес-сектора в стране.

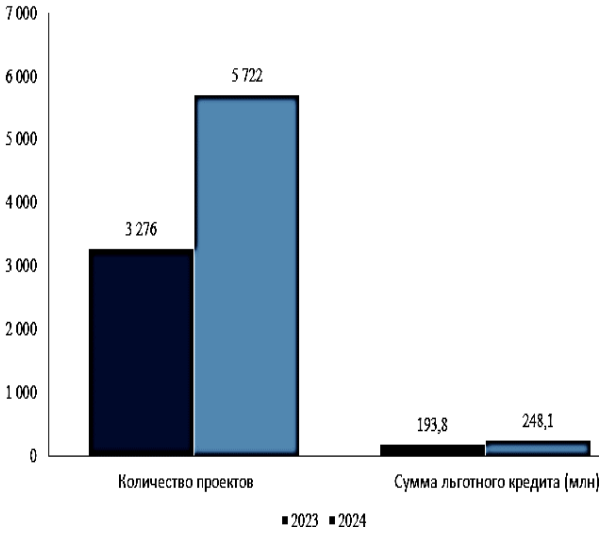


Рис. 4

В целях обеспечения устойчивости микро-, малых и средних предприятий и укрепления их долгосрочных перспектив развития особое значение имеет предоставление им доступа к льготным финансовым ресурсам, поскольку эти ресурсы, помимо увеличения инвестиционного потенциала, дают импульс для расширения хозяйственной деятельности и реализации новых проектов. Внедряемые государством механизмы поддержки в этой области, в свою очередь, создают благоприятные возможности финансирования для микро-, малых и средних предприятий, стимулируя эффективное и устойчивое развитие их экономических инициатив. Статистические показатели также подтверждают эту тенденцию: как и в 2024 году, 99,8% проектов, финансируемых из Фонда развития предпринимательства, а также 93,4% выделенных льготных кредитов достались микро-, малым и средним предприятиям. Это свидетельствует о том, что государственная поддержка в основном направлена на этот сегмент и вносит стратегический вклад в повышение их экономической активности (URL: economy.gov.az (дата обращения: 15.03.2026)).

Укрепление институционального уровня взаимоотношений с государственными и исполнительными органами власти при определении направлений развития малых и средних предприятий, а также изучение моделей поддержки, применяемых в международной практике, привели к переосмыслению подходов к повышению роли этого сектора в экономике. В системе современных экономических отношений МСП выступают в качестве одного из главных факторов, обеспечивающих гибкость и устойчивость экономических механизмов.

Малые и средние предприятия, основанные на частной собственности, составляют одну из крупнейших групп предпринимателей, определяющих экономическую активность общества. Рассматриваемый сектор играет важную функциональную роль в расширении занятости на рынке труда, реализации предпринимательских инициатив, усилении рыночной конкуренции и обеспечении сбалансированного развития территории. В этой связи динамика развития МСП считается одним из решающих показателей формирования долгосрочной стабильности национальной экономики. Позиция сектора МСП в экономической системе определяет направления регулирующей и поддерживающей политики, проводимой государствами в отношении этой сферы. Опыт зарубежных стран показывает, что для стимулирования развития МСП сформировались финансовые посредники, гарантийные механизмы и специализированные институты поддержки. Благодаря этим институциональным механизмам расширяется доступ субъектов МСП к финансовым ресурсам, укрепляется их способность адаптироваться к рыночным условиям и обеспечивается их устойчивое участие в экономических процессах. Исследования показывают, что благоприятные условия, в полной мере обеспечивающие развитие малых и средних предприятий, еще не сформированы в странах с переходной экономикой. Тем не менее укрепление малых и средних предприятий остается приоритетным направлением стратегического значения для этих государств. Эта ситуация связана с несколькими ключевыми факторами.

Во-первых, почти полное отсутствие частного капитала и финансовых ресурсов в начальный период рыночных реформ создало серьезные ограничения для развития МСП. Во-вторых, унаследованные административно-командные подходы и монополистические структуры в экономической системе до сих пор сохраняют определенное влияние. Тем не менее широкая и активная деятельность МСП важна для формирования здоровой конкурентной среды. Более того, создание полноценного среднего класса предпринимателей необходимо с социально-экономической точки зрения для формирования устойчивой рыночной экономики и гражданского общества. Поэтому почти во всех странах с переходной экономикой в государственной политике особое внимание уделяется финансовому обеспечению МСП. Однако исследования показывают, что во многих случаях про-

блемы в этой области еще не решены. Основная причина – нехватка достаточных финансовых ресурсов у правительств для поддержки развития МСП. В результате привлечение средств из международных и зарубежных организаций, а также формирование внебюджетных фондов посредством механизмов льготного кредитования имеют особое значение в финансовой поддержке МСП.

В современных экономических условиях механизм эффективного функционирования МСП должен быть, прежде всего, напрямую связан с укреплением государственной финансовой поддержки. С этой целью приоритетными считаются следующие меры:

1. Определение места МСП в экономике, разработка концепции и определение приоритетных направлений.

2. Формулирование государственной политики и реализация стратегий поддержки развития МСП.

3. Совершенствование механизмов нормативно-правовой поддержки, направленных на МСП, и укрепление их институциональной инфраструктуры.

4. Модернизация инвестиционного законодательства и создание благоприятного инвестиционного климата в стране.

5. Оптимизация механизмов налогообложения МСП.

6. Развитие кредитно-финансовых механизмов, способствующих развитию МСП, и применение новых финансовых технологий.

7. Укрепление прямой и косвенной роли государства в финансировании МСП.

Таким образом, финансовая поддержка МСП должна не ограничиваться только увеличением ресурсов, но также должна подкрепляться совершенствованием институциональной и законодательной базы для обеспечения устойчивого и сбалансированного развития сектора [21].

Кроме того, сектор малого и среднего предпринимательства имеет особое значение с точки зрения внедрения инноваций, освоения технологических новшеств и повышения конкурентоспособности, поскольку этот сегмент играет ключевую роль в формировании экономической динамики, повышении качества продукции и услуг, а также в эффективной борьбе с конкурентами на рынке. Однако устойчивое развитие этого сектора сопровождается определенными трудностями и рисками; ограниченный доступ к финансовым ресурсам, сложные правовые и налоговые нормы, а также сбои в цепочках поставок являются важными факторами, препятствующими эффективной работе малых и средних предприятий. Помимо этого, колебания рыночных условий, макроэкономическая неопределенность и усиление конкуренции также приводят к увеличению рисков для предпринимателей. Тем не менее эти препятствия можно преодолеть с помощью целенаправленных стратегий, эффективного бизнес-планирования и механизмов поддержки, реализуемых государством, в результате чего обеспечивается устойчивость хозяйствующих субъектов и непрерывность их деятельности.

Расширение финансовых и инвестиционных возможностей, особенно доступности микро- и малых кредитов, предоставление инвестиционных стимулов и механизмов разделения рисков укрепляют финансовую устойчивость малых и средних предприятий и создают условия для инвестирования в новые проекты. Одновременно с этим разработка конкурентоспособных бизнес-моделей, внедрение клиентоориентированных стратегий, проведение маркетинговых исследований, оптимизация операционных процессов и повышение операционной эффективности за счет цифровизации также играют решающую роль в обеспечении долгосрочной устойчивости сектора. Эти подходы позволяют осуществлять стратегическое управление бизнесом, эффективно использовать ресурсы и гибко адаптироваться к рыночным условиям, в результате чего значительно укрепляется конкурентоспособность и экономическая устойчивость малых и средних предприятий.

Однако малые и средние предприятия (МСП) относительно более уязвимы к рыночным колебаниям и экономическим кризисам, поскольку им не хватает капитальной мощи и возможностей распределения рисков, которыми обладает большинство

крупных компаний. Традиционно малые и средние предприятия (МСП) играли стратегическую роль в экономической системе каждого государства, а эффективность их деятельности считается одним из главных показателей экономического динамизма страны. Роль локомотива инноваций как в производственном, так и в сервисном секторах в основном выполняют малые и средние предприятия, поскольку этот сегмент, помимо высокой технологической гибкости, занимает лидирующие позиции во внедрении новых продуктов и услуг, быстрой адаптации к рыночным тенденциям и получении конкурентных преимуществ. В странах с развитой экономикой доля МСП составляет около 90% всех действующих предприятий, что демонстрирует их ведущую роль в различных секторах экономики. Сектор МСП выполняет не только экономическую, но и социальную функцию: около 75% сотрудников работают на малых и средних предприятиях, играющих решающую роль в поддержании занятости населения в стране.

Кроме того, большинство местных МСП иногда функционирует в составе крупных сельскохозяйственных или промышленных холдингов, что усложняет и искажает оценку характера их реальной хозяйственной деятельности, а также эффективное распределение кредитных и бюджетных ресурсов. Неблагоприятные макроэкономические условия, финансовые кризисы, недостаточная институциональная поддержка и слабая нормативно-правовая база привели к серьезным диспропорциям в структуре капитала МСП. Это, в свою очередь, привело к тому, что краткосрочные финансовые ресурсы, основанные на средствах родственных предприятий, занимают более выгодное положение, чем долгосрочные банковские кредиты.

В таких условиях расширение доступа к возможностям внешнего финансирования и долгосрочным банковским кредитам для реальных малых и средних предприятий не только повысит их ликвидность и финансовую стабильность, но и станет стратегически важным и устойчивым источником отбора, развития и активного участия эффективных МСП в экономической системе. Такой подход, в свою очередь, открывает для малых и средних предприятий путь к созданию добавленной стоимости для экономики страны посредством инновационных инициатив, повышения производительности и укрепления своих рыночных позиций [8].

Развитие малых и средних предприятий имеет не только экономическое, но и социальное значение. Укрепление и устойчивое развитие этого сектора напрямую влияет на повышение уровня жизни граждан, увеличение занятости и в определенной степени снижение безработицы. В то же время стабильная деятельность МСП имеет стратегическое значение с точки зрения поддержания экономической и политической стабильности страны, продвижения инновационных инициатив и расширения возможностей участия на рынке.

Доступ к финансовым ресурсам позволяет МСП создавать новые рабочие места, реализовывать инновационные инициативы, и, следовательно, развиваться быстрее. Для достижения этой цели банки предоставляют кредиты на предпринимательскую деятельность на более выгодных условиях, а государство разрабатывает различные программы и обеспечивает их реализацию. Как и в мире, в Азербайджане действуют определенные институциональные структуры, обеспечивающие развитие и финансирование малых и средних предприятий. К таким структурам относятся:

• Национальный фонд поддержки предпринимательства.

• Государственное агентство сельскохозяйственных кредитов.

• Государственный фонд развития информационных технологий.

• Азербайджанская инвестиционная компания.

Следует отметить, что кредиты из вышеупомянутых фондов предоставляются за счет финансовых ресурсов, выделенных из государственного бюджета [2]. Финансовые ресурсы, выделяемые МСП, могут быть предоставлены им только после принятия соответствующего распоряжения; без про-

цедур, утвержденных Министерством финансов, своевременное использование средств невозможно. В результате в некоторых случаях возникают задержки в реализации проектов МСП. Поэтому государственная политика поддержки малых и средних предприятий не должна ограничиваться только выделением бюджетных средств. Напротив, совершенствование институциональных механизмов, прозрачное и своевременное распределение финансовых ресурсов, создание благоприятных инвестиционных и кредитных условий для предпринимателей, а также разработка долгосрочных стратегий развития укрепляют устойчивость этого сектора и повышают общую конкурентоспособность экономики [21].

Таким образом, малые и средние предприятия выступают в качестве неотъемлемой и динамичной составляющей рыночной экономики. Их деятельность характеризуется особой гибкостью, оперативной способностью принимать решения и высокой эффективностью. Развитие малых и средних предприятий не только способствует улучшению экономических показателей, но и поддерживает демократизацию общества, повышая гражданскую активность и расширяя возможности для участия в общественной жизни. Одновременно развитие малых и средних предприятий способствует укреплению политического авторитета страны на международной арене, укреплению ее экономических основ и повышению стратегических позиций. В результате этого процесса государство получает значительные дивиденды не только в политической сфере, но и в экономической: дополнительные доходы и налоговые отчисления от деятельности хозяйствующих субъектов поддерживают экономическую стабильность и устойчивое развитие [9].

В настоящее время развитие малого и среднего бизнеса в Азербайджане затруднено рядом структурных и институциональных препятствий. Предприятия, работающие в этой сфере, часто сталкиваются с финансовыми ограничениями, сложностью административных процедур, недостаточной рыночной конкуренцией и ограниченными инвестиционными возможностями. Государство реализует различные комплексные меры для решения этих проблем, включая субсидии, кредитные программы, налоговые льготы и механизмы институциональной поддержки. Однако существующих мер недостаточно, чтобы вывести малый и средний бизнес на уровень аналогичных предприятий, работающих в экономически развитых странах. Поэтому в будущем важно более целенаправленно и эффективно внедрять государственную поддержку. Это включает в себя увеличение финансовых ресурсов, снижение налоговой нагрузки, создание более привлекательного инвестиционного климата и внедрение мотивационных программ для предпринимателей. Одновременно необходимо обеспечить благоприятную экономическую и институциональную среду для реализации предпринимателями инновационных инициатив и создания новых предприятий. Это не только обеспечит устойчивое развитие малого и среднего бизнеса, но и внесет значительный вклад в диверсификацию национальной экономики, увеличение занятости, расширение налоговой базы и укрепление глобальной экономической конкурентоспособности страны.

На данном этапе ситуация в сфере инновационной деятельности малых и средних предприятий в Азербайджане требует существенного увеличения доли инновационной продукции в структуре производимой и реализуемой в экономике продукции. Этот показатель выступает одним из главных критериев, отражающих уровень инновационного развития экономики, и играет важную роль в оценке конкурентоспособности национальной экономики. Существует острая необходимость в реализации мер, направленных на расширение инновационно-ориентированной деятельности. Такие меры создают основу для модернизации экономической структуры, внедрения новых технологий и развития областей, создающих добавленную стоимость.

В этом направлении государство, выступая в качестве главного инициатора, определяет развитие малых и средних предприятий в научно-технической сфере как приоритетное направление, формирует специ-

альную инфраструктуру поддержки инновационной деятельности и применяет различные экономические стимулы и льготы для предпринимателей. В то же время система образования обеспечивает формирование инновационно-ориентированного кадрового потенциала, подготовку высококвалифицированных специалистов и научных исследователей, что считается одним из главных условий долгосрочного инновационного развития.

Однако, несмотря на существующие меры, количество малых и средних предприятий, занимающихся применением технологических инноваций в Азербайджане, попрежнему ограничено. Инновационная деятельность малых и средних предприятий не в полной мере соответствует требованиям и принятым международным стандартам обеспечения эффективного экономического роста в стране. Это обусловливает необходимость дальнейшего совершенствования инновационной экосистемы, усиления механизмов государственной поддержки и более активного вовлечения частного сектора в инновационные инициативы [9].

Особое внимание в исследовании уделено эффективности кластерного подхода в легкой промышленности. Анализ деятельности малых предприятий, интегрированных в специализированные текстильные парки и агропарки, показал снижение операционных издержек в среднем на 15…20%. Данный эффект достигнут за счет:

- общей инфраструктуры – совместное использование логистических узлов и складских мощностей;
- снижения логистических затрат на доставку сырья (хлопкового волокна) от локальных производителей;
- налоговых и таможенных преференций, действующих внутри промышленных зон.

Выявлена прямая корреляция: предприятия, получившие доступ к льготному кредитованию технологического обновления (через Фонд развития предпринимательства), демонстрируют более высокие темпы роста экспорта готовой текстильной продукции по сравнению с автономными субъектами МСП.

В странах с переходной экономикой доступ к финансированию для малых и средних предприятий в значительной степени ограничен информационными пробелами и нормативными ограничениями. Хотя эти проблемы существенно ограничивают возможности роста и развития МСП, государственные органы и заинтересованные стороны выдвигают различные стратегии и регуляторные инициативы для обеспечения устойчивого развития сектора. Например, вводятся механизмы залогового обеспечения для облегчения доступа МСП к кредитам, особенно для малых и вновь созданных предприятий. Кроме того, альтернативные каналы финансирования, такие как краудфандинг и одноранговое кредитование, расширяют доступ МСП к капиталу и способствуют более гибкому использованию финансовых ресурсов. Программы повышения квалификации и обучения также оказывают важную поддержку МСП в решении их финансовых проблем. Такие программы позволяют предпринимателям укреплять свои навыки финансового управления, повышать кредитоспособность и эффективно планировать свои финансовые ресурсы. Это помогает МСП принимать более надежные и устойчивые финансовые решения. Регуляторные реформы важны для создания благоприятной среды для финансирования МСП. В этом контексте упрощение нормативных процедур, введение налоговых льгот и содействие сотрудничеству между государственным и частным секторами повышают инновационный потенциал МСП и стимулируют инклюзивное экономическое развитие. Такие меры способствуют долгосрочной экономической устойчивости за счет повышения конкурентоспособности сектора.

Следовательно, несмотря на существующие трудности в сфере финансирования МСП, их можно решить с помощью многогранных и скоординированных подходов. При совместном применении государственной поддержки, участия финансовых учреждений, программ обучения и альтернативных каналов финансирования потенциал развития МСП возрастает, что способствует устойчивому и инклюзивному раз-

витию как отдельных предпринимателей, так и национальной экономики.

Проведенное исследование позволяет констатировать, что текущая экономическая среда Азербайджана благоприятствует количественному росту сектора МСП, однако качественная трансформация микробизнеса в средний сегмент остается затрудненной. Установлено, что доминирование негосударственного сектора (83%) и высокая концентрация микропредприятий (более 96%) определяют гибкость рынка, но ограничивают его инновационный потенциал из-за дефицита долгосрочного банковского фондирования.

Эффективность государственного стимулирования подтверждается ростом объемов льготного кредитования и снижением операционных издержек в специализированных промышленных зонах. Тем не менее для устойчивого развития текстильной и швейной отраслей требуется переход от общих мер поддержки к механизмам государственно-частного партнерства, ориентированным на технологическое обновление.

Результаты анализа легкой промышленности Азербайджана доказывают, что изолированные меры поддержки не обеспечивают качественного скачка МСП. Создание текстильных кластеров снижает операционные издержки на 15…20%, но не гарантирует автоматического выхода на мировые рынки. Ключевым условием повышения глобальной конкурентоспособности национальных МСП является синергия между целевыми инвестиционными потоками (модернизация мощностей) и развитием профильных образовательных программ. Только при одновременном росте доступности капитала и повышении квалификации руководителей в сфере международного маркетинга и стандартизации возможна глубокая интеграция малых предприятий в глобальные цепочки стоимости.

Перспективным представляется изучение причин замедления темпов регистрации новых субъектов в 2024 году, а также проведение отраслевых исследований в текстильной и перерабатывающей промышленности для оценки реального влияния таможенных преференций на технологическое обновление МСП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаджиев А.В.* Направления влияния предпринимательской деятельности на формирование рынка труда // Устойчивое развитие. 2024. №2, С. 26…31.
2. *Гасанов А.* Проблемы в механизмах финансирования малого и среднего бизнеса и пути их решения // Устойчивое развитие. 2024. №2. С. 34…45.
3. *Маммадов Дж., Гусейнов Ю., Ахмедова М. и др.* Разработка маркетинговой стратегии эффективного управления информационной средой технопарка // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. 2025. №3(13 (135)). С. 26…34.
4. *Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И.* Управление университетским технопарком: ключевые критерии успеха // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3(411). С. 65…77.
5. *Гусейнов Ю.Р., Ахмадова М.И., Маммадова Г.Р.* Один пояс – один путь: управление логистикой для процветания университета // IV Междунар. конф. PLMO. Баку, 2025. С. 1...5.
6. *Ахмедова М.İ., Мамедова Г.Р., Аскеров А.Т.* Управление логистикой: неотъемлемая часть национальной экономики // Журнал инновационной экономики и менеджмента. 2025. №2. С. 10…15.
7. *Мамедов Д.Ф., Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И. и др.* Стратегия управления современными технопарками: информационное взаимодействие университета и общества // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №5(419). С. 79…89.
8. *Ибрагимли В.* Улучшение финансовой поддержки инновационной предпринимательской деятельности // Шелковый путь. 2024. №4. С. 32…42.
9. *Рзаев Р.* Аспекты развития малого инновационного предпринимательства // Научно-практический журнал "Кооператив". 2024. №4(75). С. 41…50.
10. *Оруджева Г., Агаев У., Гянджалиева Г. и др.* Моделирование мобильного промышленного робота для инновационного строительства, применяемого в технологическом парке // Междунар. конф. по автоматике и информатике (ICAI). Варна, Болгария, 2025.
11. *Алиева Л.Д.* Направления развития предпринимательства и инвестиционных отношений в экономике Азербайджана // Проблемы и перспективы развития предпринимательства: матер. XIX междунар. науч.-практ. конф. 2025. С. 85…87.
12. *Сулейманов М.*, Оруджев Э. Государственная поддержка развития предпринимательства в регионах Азербайджана // Немецкий международный журнал современной науки. 2025. №102. С. 24…30.
13. *Ахмедова М.И., Алиев Э.Э.* Улучшение транспортной инфраструктуры и региональное развитие // Вестник науки. 2026. Вып. №1(94). Т. 4. С. 20…25.

14. *Багирова А.М.* Анализ экономической деятельности женщин-предпринимателей в Азербайджане // Научные труды Азербайджанского государственного аграрного университета. 2022. №2. С. 132…141.

15. *Гусейнов Ю.Р., Мамедова Г.Р., Ахмедова М.И. и др.* Критическое отношение к технопаркам // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №3(405). С. 74…80.

16. *Керимова М.Г.* Некоторые экономические аспекты повышения эффективности использования материалов и технических производственных ресурсов в сельском хозяйстве // Европейский журнал экономических и управленческих наук. 2022. № 1. С. 62…68.

17. *Йиндржиховска И.* Финансовое управление в малых и средних предприятиях // Европейские исследовательские работы. Специальный выпуск, посвященный малым и средним предприятиям. 2013. Т. XVI, №4. С. 79…95.

18. *Леонтьева Л.С., Ильин А.Б., Сизова Ю.С.* Институциональная поддержка малого и среднего бизнеса на разных этапах развития: данные из России // Журнал ESPACIOS. 2018. Т. 39, №24. 17 с.

19. *Алиев Г.* Мировой опыт совершенствования механизма финансирования малых и средних предприятий в Азербайджане // Научные вести Азербайджанского государственного экономического университета. 2022. №10. С. 77…87.

20. *Нахмадли И.М.* Микро-, малые и средние предприятия в Азербайджане: текущее состояние и перспективы развития // Экономика и управление строительством. 2025. №1. С. 100…106.

21. *Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Ахмедова М.И. и др.* Совершенствование внешнеэкономических связей Азербайджана в сфере текстильного производства // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №3(417). С. 87…94.

REFERENCES

1. *Hajiev A.V.* Directions of the influence of entrepreneurial activity on the formation of the labor market // Sustainable development. 2024. №2. P. 26...31.

2. *Hasanov A.* Problems in the financing mechanisms of small and medium-sized businesses and ways to solve them // Sustainable development. 2024. №2. P. 34...45.

3. *Mammadov J., Huseynov Y., Ahmadova M. etc.* Developing a marketing strategy for efficient management of the information environment of the technology park // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. №3 (13 (135)). P. 26…34. – https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025. 330483.

4. *Huseynov Y.R., Ahmadova M.I.* University technology park management: key criteria for success // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. №3(411). P. 65…77.

5. *Huseynov Y.R., Ahmadova M.I., Mammadova G.R.* One Belt - One Road: Logistics management for university prosperity. Paper presented at the IV International Conference PLMO. Baku, 2025. Pp. 1…5. – https://plmo.cyber.az/2025/papers/4.05.pdf

6. *Ahmadova M.I., Mammadova G.R., Askerov A.T.* Logistics management: an integral part of the national economy // Journal of innovative economics and management. 2025. №2. P. 10…15.

7. *Mamedov J.F., Huseynov Y.R., Ahmadova M.I. etc.* Management strategy of modern technology park: information interaction between university and society // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. №5(419). P. 79…89.

8. *Ibrahimli V.* Improving financial support for innovative entrepreneurial activity // Silk Road Journal. 2024. №4. P. 32…42.

9. *Rzaev R.* Aspects of the development of small innovative entrepreneurship // Scientific and practical journal Cooperative. 2024. №4(75). P. 41…50.

10. *Orujova G., Agayev U., Genjeliyeva G. etc.* Modeling of the innovation construction mobile industrial robot applied in technology park // International Conference Automatics and Informatics (ICAI). Varna, Bulgaria, 2025.

11. *Alieva L.D.* Directions for the development of entrepreneurship and investment relations in the economy of Azerbaijan // Materials of the XIX international scientific and practical conference Problems and prospects for the development of entrepreneurship. 2025. P. 85...87.

12. *Suleymanov M., Orujov E.* State support for the development of entrepreneurship in Azerbaijan's regions // German International Journal of Modern Science. 2025. №102. P. 24…30.

13. *Ahmadova M.I., Aliev E.E.* Improving transport infrastructure and regional development // International scientific journal "Bulletin of Science". 2026. Vol. 4, issue №1 (94). P. 20…25.

14. *Bagirova A.M.* Analysis of the economic activity of female entrepreneurs in Azerbaijan // Journal Scientific works of the Azerbaijan State Agricultural University. 2022. №2. P. 132…141.

15. *Huseynov Y.R., Mammadova G.R., Ahmadova M.I. etc.* Critical attitude to technology parks // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №3(405). P. 74…80.

16. *Karimova M.H.* Some economic aspects of the improvement of the use of material-technical production resources in agriculture // European Journal of Economics and Management Sciences. 2022. №1. P. 62…68.

17. *Jindrichovska I.* Financial management in SMEs // European Research Studies. Special issue dedicated to small and medium-sized businesses. 2013. Vol. XVI, №4. P. 79…95.

18. *Leontieva L.S., Ilin A.V., Sizova Y.S.* Institutional support of small and medium-sized businesses at various stages of development: Evidence from Russia // Journal ESPACIOS. 2018. Vol. 39, №24. P. 17.

19. *Aliev G.* World experience in improving the financing mechanism of small and medium enterprises in

Azerbaijan // Journal Scientific News of the Azerbaijan State University of Economics. 2022. №10. P. 77…87.

20. *Nahmadli I.M.* Micro, small and medium enterprises in Azerbaijan: current state and development prospects // Economics and construction management. 2025. №1. P. 100…106.

21. *Mamedova Kh.F., Mamedov F.A., Ahmadova M.I. etc.* Improvement of foreign economic relations of Azerbaijan in textile production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. №3(417). P. 87…94.

Рекомендована кафедрой управления и отделом организации и управления научной деятельностью (ОУНД) Азербайджанского технологического университета. Поступила 04.05.26.

УДК 339.138:677:004.9
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_87

АНАЛИЗ МАРКЕТИНГОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

ANALYSIS OF MARKETING TOOLS IN LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

М.И. АХМЕДОВА, М.Г. КЕРИМОВА, Ф.Д. КЕРИМОВ, А.А. ДЖАВИД, Ш.Н. ГАРАЕВА, М.Ш. ГАРАЕВ

M.I. AHMADOVA, M.H. KARIMOVA, F.J. KARİMOV, A.A. JAVID, S.N. QARAYEVA, M.S. QARAYEV

(Азербайджанский технологический университет)

(Azerbaijan Technological University)

E-mail: matanat.axmedova74@gmail.com, m.kerimova@atu.edu.az, f.kerimov@atu.edu.az

Легкая промышленность играет важную роль в развитии национальной экономики, производя потребительские товары и создавая рабочие места. В современных экономических условиях, характеризующихся быстрым технологическим прогрессом и жесткой конкуренцией, эффективное использование маркетинговых инструментов стало основной причиной успеха предприятия. Цель данного исследования – проанализировать применение маркетинговых инструментов на предприятиях легкой промышленности и оценить их роль в повышении конкурентоспособности в контексте цифровой трансформации. Исследование основано на теоретическом анализе, сравнительном анализе и синтезе научной литературы, посвященной управлению маркетингом и стратегиям цифрового маркетинга. Особое внимание уделяется использованию инструментов цифрового маркетинга, таких как маркетинг в социальных сетях, поисковая оптимизация и онлайн-платформы продаж. Исследование показывает, что интеграция традиционных и цифровых маркетинговых инструментов вносит значительный вклад в повышение узнаваемости бренда, расширение клиентской базы и повышение эффективности продаж. Результаты указывают на то, что предприятиям текстильной, швейной, обувной и кожевенной промышленности следует активно внедрять стратегии цифрового маркетинга, укреплять позиционирование бренда и внедрять системы управления взаимоотношениями с клиентами для достижения устойчивого развития и конкурентных преимуществ на рынке.

Light industry plays an important role in the development of the national economy, providing consumer goods and creating employment opportunities. In modern economic conditions characterized by rapid technological progress and intense competition, the effective use of marketing tools has become a key factor for enterprise success. The purpose of this research is to analyze the application of marketing tools in light industry enterprises and to evaluate their role in increasing competitiveness in the context of digital transformation. The study is based on theoretical analysis, comparative analysis, and synthesis of scientific literature related to marketing management and digital marketing strategies. Particular attention is given to the use of digital marketing instruments such as social media marketing, search engine optimization, and online sales platforms. The research shows that the integration of traditional and digital marketing tools contributes significantly to improving brand awareness, expanding customer bases, and increasing sales efficiency The results indicate that textile, clothing, footwear and leather industries should actively implement digital marketing strategies, strengthen brand positioning and implement customer relationship management systems to achieve sustainable development and competitive advantage in the market.

Ключевые слова: цифровой маркетинг, маркетинговые инструменты, легкая промышленность, конкурентоспособность, брендинг, цифровая трансформация.

Keywords: digital marketing, marketing tools, light industry, competitiveness, branding, digital transformation.

Введение

В современных экономических условиях роль маркетинга в развитии промышленных предприятий значительно возросла. Глобальная конкуренция, стремительный технологический прогресс и постоянно меняющиеся потребительские предпочтения требуют от предприятий применения эффективных маркетинговых инструментов для поддержания конкурентоспособности и обеспечения устойчивого развития. Маркетинговые инструменты позволяют предприятиям не только продвигать свою продукцию, но и анализировать рыночный спрос, выявлять потребности клиентов и разрабатывать эффективные стратегии позиционирования и продвижения продукции [1]. Однако развитие этого сектора во многом зависит от способности предприятий реагировать на изменения рынка и применять современные маркетинговые подходы [2].

В последние годы цифровые технологии значительно трансформировали традиционные маркетинговые практики [3]. Использование цифровых маркетинговых инструментов, таких как платформы социальных сетей, поисковая оптимизация, онлайн-реклама и электронная коммерция, стало важным фактором расширения рыночных возможностей для предприятий [4]. Цифровые каналы позволяют компаниям напрямую взаимодействовать с потребителями, повышать узнаваемость бренда и улучшать лояльность клиентов [5].

Маркетинговые исследования показывают, что эффективное использование маркетинговых инструментов способствует формированию продуктовой политики и повышает конкурентоспособность предприятий на рынке [6]. По мнению авторов [7], маркетинговые инструменты играют важную роль в формировании продуктовой политики и укреплении взаимодействия между предприятиями и потребителями, что в конечном итоге приводит к улучшению показателей продаж и позиционирования на рынке.

В современной деловой среде маркетинг не ограничивается продвижением продукта или рекламой; он представляет собой комплексный управленческий процесс, направленный на выявление потребностей потребителей и предоставление ценности посредством эффективных рыночных стратегий [8].

В условиях цифровизации классический комплекс маркетинга (4P) на предприятиях легкой промышленности трансформируется, требуя интеграции омниканальных продаж и сквозной аналитики.

Целью данного исследования является анализ применения маркетинговых инструментов на предприятиях легкой промышленности и оценка их влияния на формирование продуктовой политики и конкурентоспособности в контексте цифровой трансформации.

Методы

Методологическую основу исследования составил системный и сравнительный анализ маркетинговых стратегий, используемых на современных промышленных предприятиях.

Инструменты продвижения используются для общения с потенциальными клиентами и повышения осведомленности о продуктах и брендах [9…14]. К таким инструментам относится традиционная реклама на телевидении, радио, в печатных СМИ, наружная реклама, а также современные инструменты цифрового маркетинга, такие как маркетинг в социальных сетях, поисковая оптимизация, маркетинг влияния и контент-маркетинг [14]. Интеграция традиционных и цифровых методов продвижения позволяет предприятиям охватывать более широкую аудиторию и укреплять позиции своих брендов на рынке.

Системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) также играют важную роль в современных маркетинговых стратегиях. Технологии CRM позволяют предприятиям собирать и анализировать данные о клиентах, отслеживать покупательское поведение и разрабатывать персонализированные маркетинговые кампании [15, 16]. Используя системы CRM, компании могут повысить удовлетворенность клиентов, увеличить лояльность клиентов и построить долгосрочные отношения с потребителями.

Для представления структуры маркетинговых инструментов, используемых предприятиями легкой промышленности, авторами предложена их классификация (табл. 1).

Таблица 1

Категория маркетинговых инструментов	Примеры	Основная цель
Инструменты связи с потребителями	Опросы, фокус-группы	Изучение потребностей потребителей
Инструменты продуктовой политики	Дизайн, брендинг, упаковка	Повышение конкурентоспособности продукции
Инструменты ценообразования	Конкурентные цены, скидки	Увеличение продаж и прибыльности
Инструменты дистрибуции	Розничные сети, платформы электронной коммерции	Обеспечение наличия продукции
Инструменты продвижения	Реклама, цифровой маркетинг	Повышение узнаваемости бренда
Инструменты CRM	Базы данных клиентов, программы лояльности	Укрепление отношений с клиентами
Инструменты маркетинговой аналитики	Анализ продаж, показатели социальных сетей, SWOT-анализ	Оценка эффективности маркетинга

Методологическая основа данного исследования учитывает возрастающую важность цифровых технологий в маркетинговой деятельности. Цифровые маркетинговые инструменты позволяют предприятиям более точно анализировать поведение клиентов и разрабатывать целевые маркетинговые стратегии. Эти инструменты обеспечивают измеримые результаты и позволяют компаниям быстро адаптироваться к изменениям рыночных условий.

Эмпирическую основу исследования составили результаты опроса, проведенного авторами в период с января по ноябрь 2024 года. В анкетировании приняли участие менеджеры по маркетингу и руководители предприятий текстильной, швейной и обувной отраслей Азербайджана. Полученные количественные данные были обработаны методом статистического анализа и послужили основой для построения рисунков.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования показывают, что эффективное использование маркетинговых инструментов оказывает значительное влияние на конкурентоспособность и развитие предприятий легкой промышленности [17]. Анализ демонстрирует, что предприятия, работающие в текстильной, швейной, обувной и кожевенной отраслях, все чаще полагаются на интегрированные маркетинговые стратегии, сочетающие традиционные методы маркетинга с современными цифровыми технологиями. Использование маркетинговых инструментов помогает компаниям лучше понимать предпочтения потребителей, улучшать продуктовую политику, укреплять позиционирование бренда и расширять рыночные возможности.

На основе анализа собранных теоретических материалов и маркетинговой практики, используемой на предприятиях легкой промышленности, можно выделить несколько ключевых областей маркетинговой деятельности. К ним относятся разработка продуктовой политики, ценовые стратегии, системы дистрибуции, рекламные мероприятия и использование цифровых маркетинговых технологий. Каждая из этих областей вносит вклад в общую эффективность маркетинговых стратегий предприятия и играет важную роль в достижении устойчивых конкурентных преимуществ.

1. Политика в отношении продукции на предприятиях легкой промышленности

Политика в отношении продукции является одним из важнейших компонентов маркетинговой стратегии на предприятиях легкой промышленности. Отрасли, входящие в этот сектор, такие как текстильное производство, швейное производство, обувное производство и производство кожаных изделий, находятся под сильным влиянием потребительских предпочтений, модных тенденций и инноваций в дизайне. Предприятиям в этих отраслях необходимо постоянно обновлять свой ассортимент продукции и повышать ее качество, чтобы поддерживать конкурентоспособность. Дизайн продукции, упаковка, брендинг и разработка новых коллекций являются важными инструментами, позволяющими компаниям дифференцировать свою продукцию на рынке.

Анализ показывает, что компании, инвестирующие в инновации в продукцию и развитие бренда, достигают более сильных рыночных позиций и более высокой лояльности потребителей. Эффективная политика в отношении продукции помогает предприятиям адаптироваться к быстро меняющимся ожиданиям потребителей.

2. Стратегии ценообразования и их влияние на продажи

Ценовая политика играет решающую роль в определении рыночного успеха продукции, производимой предприятиями легкой промышленности. Решения о ценообразовании влияют на восприятие потребителями ценности и покупательское поведение.

Компании обычно применяют несколько стратегий ценообразования в зависимости от своего рыночного позиционирования и целевой аудитории. Эти стратегии включают конкурентное ценообразование, ценообразование на основе ценности, премиальное ценообразование для высококачественной продукции и стратегии скидок, используемые во время рекламных кампаний или сезонных распродаж.

Сезонные скидки особенно распространены в швейной и обувной промышленности, где потребительский спрос часто колеблется в зависимости от модных сезонов. Применяя гибкие стратегии ценообразования, предприятия могут увеличить объемы продаж и поддерживать стабильный уровень доходов [18].

3. Каналы сбыта в легкой промышленности

Политика сбыта обеспечивает доставку продукции потребителям через эффективные и доступные каналы. Традиционные каналы сбыта, такие как розничные мага-

зины, оптовые сети и торговые центры, продолжают играть важную роль в продаже продукции легкой промышленности [19, 20].

Однако стремительное развитие электронной коммерции значительно изменило системы сбыта в последние годы. Многие предприятия теперь сочетают традиционные каналы продаж с онлайн-платформами, чтобы расширить охват рынка (табл. 2).

Таблица 2

Канал сбыта	Характеристики	Преимущества
Розничные магазины	Физические торговые точки	Прямое взаимодействие с клиентами
Оптовые сети	Продажи через посредников	Большие объемы продаж
Торговые центры	Фирменные магазины в торговых центрах	Высокий поток клиентов
Интернет-магазины	Платформы электронной коммерции	Более широкий географический охват
Продажи через социальные сети	Продажи через социальные сети	Прямая коммуникация с потребителями

Использование нескольких каналов сбыта позволяет предприятиям охватывать более широкую аудиторию и повышать эффективность продаж.

4. Инструменты продвижения и коммуникации

Промоакции играют важную роль в повышении узнаваемости бренда и привлечении потенциальных клиентов. Предприятия легкой промышленности активно используют как традиционные, так и современные инструменты маркетинговых коммуникаций.

К традиционным инструментам продвижения относятся телевизионная реклама, радиореклама, печатные СМИ и наружная реклама, например, билборды. Эти методы позволяют предприятиям охватывать широкую аудиторию и повышать узнаваемость бренда.

В то же время инструменты цифрового маркетинга приобретают все большее значение для продвижения продукции. Маркетинг в социальных сетях, маркетинг влияния и онлайн-рекламные кампании позволяют компаниям напрямую взаимодействовать с потребителями и строить более прочные отношения со своей целевой аудиторией.

На основе проведенного анкетирования была определена структура инструментов продвижения. Как видно из разработанного авторами рис. 1, анализ распределения бюджетов показал доминирование визуальных каналов продвижения (SMM и таргетированная реклама суммарно более 50%), что обусловлено спецификой визуального восприятия продукции индустрии моды. Это свидетельствует о растущей важности цифровых коммуникационных платформ в маркетинговых стратегиях.

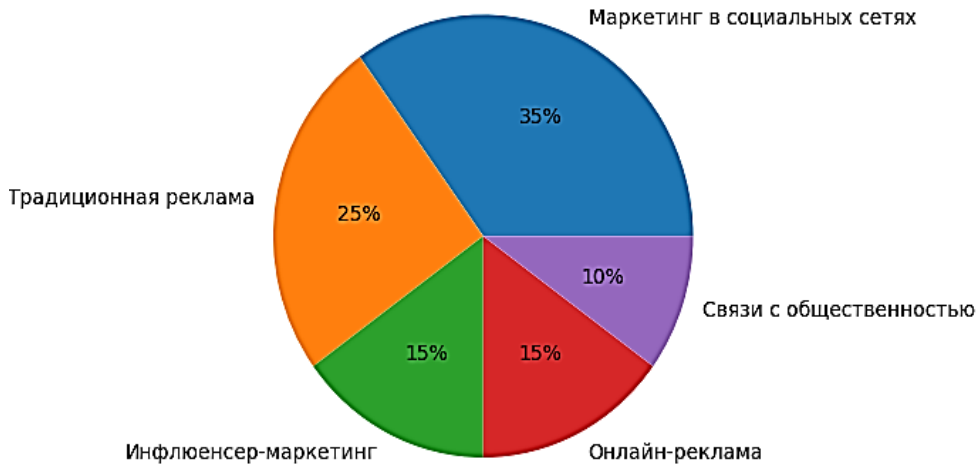


Рис. 1

5. *Роль цифрового маркетинга*

Цифровой маркетинг стал одним из важнейших инструментов для современных предприятий. Развитие интернет-технологий и платформ социальных сетей открыло новые возможности для компаний в продвижении своей продукции и общении с потребителями [21].

Цифровой маркетинг включает в себя несколько важных компонентов, таких как поисковая оптимизация (SEO), маркетинг в социальных сетях (SMM), контент-маркетинг, email-маркетинг и онлайн-реклама. Эти инструменты позволяют предприятиям охватывать более широкую аудиторию и измерять эффективность своих маркетинговых кампаний.

Инструменты цифрового маркетинга предоставляют ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами маркетинга. Они позволяют компаниям ориентироваться на конкретные группы потребителей, анализировать результаты маркетинга в режиме реального времени и корректировать свои стратегии в соответствии с рыночными условиями.

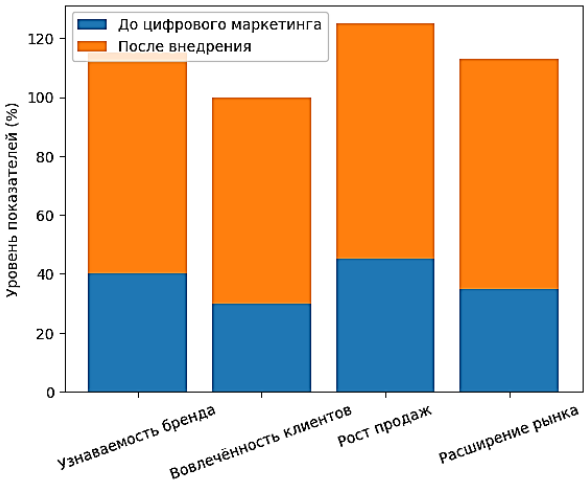


Рис. 2

Как показано на рис. 2, внедрение стратегий цифрового маркетинга существенно улучшает показатели эффективности предприятия. В частности, после внедрения инструментов цифрового маркетинга значительно возрастает вовлеченность клиентов и узнаваемость бренда.

Результаты показывают, что предприятия, активно внедряющие стратегии цифрового маркетинга, достигают более высоких уровней вовлеченности клиентов и роста продаж.

6. *Управление взаимоотношениями с клиентами (CRM)*

Системы управления взаимоотношениями с клиентами играют важную роль в современных маркетинговых стратегиях. Системы CRM позволяют предприятиям собирать данные о клиентах, анализировать покупательское поведение и разрабатывать персонализированные маркетинговые кампании.

Внедрение технологий CRM помогает предприятиям укреплять лояльность клиентов и повышать их удовлетворенность. Понимая предпочтения клиентов и модели покупок, компании могут предлагать персонализированные акции и улучшать общее качество обслуживания клиентов.

В целом результаты исследования показывают, что интеграция маркетинговых инструментов, таких как разработка продуктовой политики, ценовые стратегии, системы дистрибуции, рекламные мероприятия, цифровые маркетинговые технологии и системы CRM, значительно повышает конкурентоспособность предприятий легкой промышленности. Предприятия, эффективно применяющие эти инструменты, лучше адаптируются к изменениям рынка и достигают устойчивого развития в конкурентной среде.

7. *Концептуальная модель маркетинговых инструментов*

В рамках данного исследования разработана оригинальная концептуальная модель маркетинговых инструментов (рис. 3).

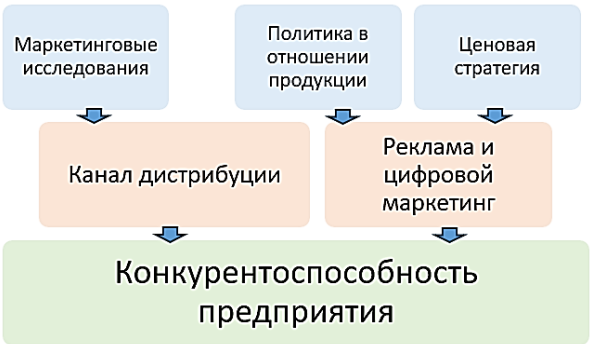


Рис. 3

Представленная концептуальная модель иллюстрирует взаимосвязь между ключевыми маркетинговыми инструментами и конкурентоспособностью предприятия. Маркетинговые мероприятия, такие как продуктовая политика, ценовые стратегии и цифровое продвижение, в совокупности влияют на эффективность деятельности предприятия.

Концептуальная модель демонстрирует, что маркетинговые исследования, продуктовая политика и ценовые стратегии влияют на конкурентоспособность предприятия через системы дистрибуции и рекламные мероприятия. Маркетинговые исследования предоставляют предприятиям ценную информацию о потребительских предпочтениях и рыночных тенденциях, что помогает компаниям разрабатывать эффективные продуктовые стратегии.

Продуктовая политика играет решающую роль в обеспечении соответствия продукции ожиданиям потребителей с точки зрения качества, дизайна и функциональности. Ценовые стратегии влияют на восприятие потребителями ценности и на решения о покупке. Каналы дистрибуции обеспечивают доступность продукции, а рекламные мероприятия повышают узнаваемость бренда и привлекают потенциальных клиентов. Вместе эти маркетинговые инструменты способствуют улучшению показателей деятельности предприятия и укреплению конкурентоспособности на рынке.

8. Структура стратегии цифрового маркетинга

Развитие цифровых технологий значительно изменило маркетинговые практики в различных отраслях промышленности. Предприятия все чаще используют инструменты цифрового маркетинга для продвижения своей продукции и взаимодействия с потребителями (рис. 4).

Эти инструменты цифрового маркетинга позволяют предприятиям напрямую взаимодействовать с клиентами через онлайн-платформы. Маркетинг в социальных сетях играет особенно важную роль в продвижении продукции и укреплении имиджа бренда. Такие платформы, как Instagram*, Facebook* и TikTok, предоставляют предприятиям возможности визуально представлять свою продукцию и взаимодействовать с потребителями в режиме реального времени.

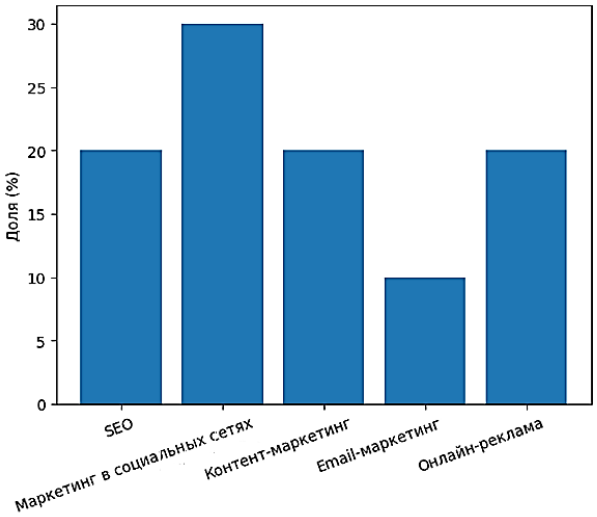


Рис. 4

Контент-маркетинг также способствует повышению вовлеченности клиентов, предоставляя информативные и образовательные материалы, связанные с продуктами и услугами. Email-маркетинг позволяет компаниям поддерживать прямую связь с клиентами и продвигать новые продукты или специальные предложения.

В целом эффективное использование инструментов цифрового маркетинга помогает предприятиям повысить узнаваемость бренда, улучшить взаимодействие с клиентами и повысить общую эффективность маркетинга.

9. Ключевые маркетинговые факторы, влияющие на предприятия легкой промышленности

Помимо маркетинговых инструментов, на конкурентоспособность предприятий легкой промышленности влияют несколько важных факторов, представленных на рис. 5.

Анализ показывает, что качество продукции и деятельность в сфере цифрового маркетинга являются одними из наиболее влиятельных факторов, определяющих эффективность деятельности предприятия.

* Соцсети, запрещенные в Российской Федерации.

Высокое качество продукции повышает удовлетворенность клиентов и укрепляет репутацию бренда. Цифровой маркетинг позволяет предприятиям эффективно взаимодействовать с потребителями и расширять охват рынка

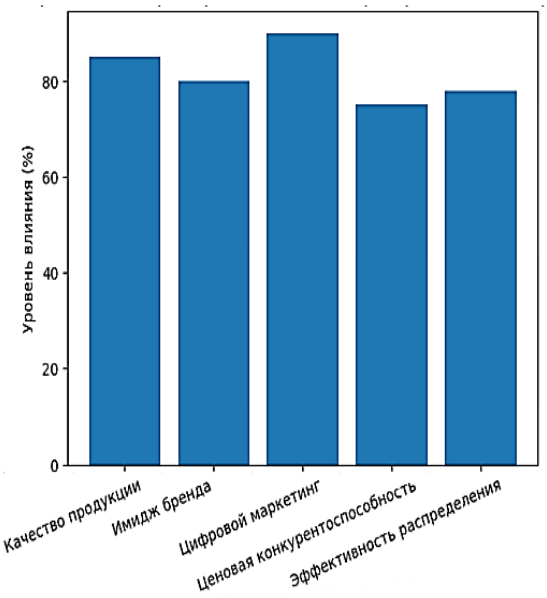


Рис. 5

.

Имидж бренда также играет важную роль в формировании решений потребителей о покупке. Сильный бренд помогает предприятиям дифференцировать свою продукцию от конкурентов и строить долгосрочные отношения с клиентами.

Ценовая конкурентоспособность и эффективные системы дистрибуции также способствуют успеху маркетинговых стратегий. Предприятия, сочетающие конкурентоспособные цены с эффективными каналами сбыта, лучше способны увеличивать продажи и расширять свою долю рынка [22, 23].

Заключение

В результате проведенного исследования авторами сформирован комплексный подход к трансформации маркетинговых стратегий предприятий легкой промышленности в условиях цифровизации. На основе полученных данных сформулированы следующие ключевые выводы:

1. Обосновано, что классическая концепция комплекса маркетинга (4P) в текстильной и швейной отраслях требует интеграции омниканальных моделей распределения и сквозной аналитики. Разработанная авторами структура маркетинговых инструментов (рис. 3) наглядно демонстрирует приоритетность визуальных каналов продвижения (SMM, таргетированная реклама) и автоматизации клиентского сервиса через CRM-системы.

2. Предложенная классификация маркетинговых инструментов и алгоритм оптимизации продуктового портфеля (табл. 2) могут быть непосредственно использованы менеджментом текстильных фабрик. Это позволит сократить издержки на продвижение в неэффективных каналах и повысить точность прогнозирования спроса на 15…20%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Дойл П.* Маркетинг, основанный на ценностях: маркетинговые стратегии для корпоративного роста и повышения акционерной стоимости // Управление брендом. 2001. Т. 8, №6. С. 463…466.

2. *Меро Д., Карьялуото Х.* Использование веб-аналитики для измерения эффективности цифрового маркетинга // Управление промышленным маркетингом. 2015. №50. Р. 117…127.

3. *Джеймс М., Крик М., Хамза И., Крик Д.* Управление предпринимательской маркетинговой ориентацией в условиях турбулентной конкурентной деловой среды // Журнал стратегического маркетинга. 2024. Р. 1…15. – DOI: 10.1080 /0965254X.2024.2445655

4. *Трейнер К. Дж., Андзулис Дж. М., Рапп А., Агнихотри Р.* Использование технологий социальных сетей и эффективность взаимоотношений с клиентами // Журнал деловых исследований. 2014. №67(6). С. 1201…1208.

5. *Мамедов Д.Ф., Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И. и др.* Стратегия управления современными технопарками: информационное взаимодействие университета и общества // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №5(419). С. 79…89.

6. *Кумар В.* Эволюция маркетинга как дисциплины: что произошло и на что следует обратить внимание // Журнал маркетинга. 2015. №79(1). С. 1…9.

7. *Дунаев И., Громов С., Тымченко Ю., Проскурина М.* Объяснение роли цифровых технологий в маркетинговом управлении современной компании // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. 2022. №5 (13 (119)). С. 89…99.

8. *Хадияти Э., Мулионо С., Гунади Г.* Цифровой маркетинг как определяющий фактор повышения эффективности бизнеса // Инновационный маркетинг. 2024. №20(3). С. 28…41.

9. *Вериссимо Ж.М., Тиаго Т.* Цифровой маркетинг и социальные сети: зачем это нужно? // Business Horizons. 2014. №57(6). С. 703…708.

10. *Трильо Х.Р., Эррера-Вьедма Э., Морente-Молинера Х.А., Франсиско Х.К.* Система принятия групповых решений в крупном масштабе, основанная на кластерном анализе настроений // Информационный синтез. 2022. № 91. С. 633…643.

11. *Ведель М., Каннан П.К.* Маркетинговая аналитика для сред с большим объемом данных // Журнал маркетинга. 2016. №80(6). С. 97…121.

12. *Раст Р.Т., Лемон К.Н., Зейтамл В.А.* Рентабельность маркетинга: использование клиентского капитала для оптимизации маркетинговой стратегии // Журнал маркетинга. 2004. №68(1). С. 109…127.

13. *Кадацкая Д.В., Лаврова Ю.С.* Методические подходы к оценке стратегического развития предпринимательства в отрасли легкой промышленности как основного драйвера развития региона // Креативная экономика. 2019. №13(7). С. 1483…1494.

14. *Сетини С., Амерта С.М.И., Индиани П.Л.Н. и др.* Стратегия цифрового маркетинга как катализатор роста малых и средних предприятий в современную эпоху // EKOMBIS REVIEW: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis. 2025. №13(1). P. 951…966. – DOI: 10.37676/ekombis.v13i1.7888

15. *Котлер Ф.* Основы маркетинга. Краткий курс: пер. с англ. М.: Изд-во "Уильям", 2007. 656 с. – ISBN 978-5-8459-0376-1.

16. *Хомбург К., Йозич Д., Кюнл К.* Управление клиентским опытом: на пути к внедрению развивающейся маркетинговой концепции // Журнал Академии маркетинговых наук. 2015. №45(1). P. 377…401. – DOI: 10.1007/s11747-015-0460-7

17. *Мамедов Д.Ф., Абдуллаев К., Алиев И.* Оценка экономической эффективности на этапах проектирования гибких производственных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2021. № 18. С. 26…32.

18. *Керимова М., Керимов Ф., Гаджиева Н. и др.* Маркетинговые инструменты для формирования влияния на продуктовую политику // TEC Empresarial. 2025. №20(1). С. 117…127.

19. *Маммадов Дж., Гусейнов Ю., Ахмедова М. и др.* Разработка маркетинговой стратегии эффективного управления информационной средой технопарка // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. 2025. №3(13 (135)). С. 26…34.

20. *Санапанг Г.М., Моналиса М., Сьям А. и др.* (2025). Цифровой маркетинг: стратегия и инновации. Pemasaran Digital. PT. Green Pustaka. Индонезия.

21. *Hadi S.S., Ibrahim S.A., Abdipattaev T. etc.* The evolution of marketing strategies for textile products in the era of social media // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4(418). С. 64…73.

22. *Гаджиева Н.А., Хан-Хойская И.В., Мамедова Х.Ф. и др.* Современные проблемы маркетинга в текстильной промышленности Азербайджана: вызовы и перспективы решений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4(418). С. 52…63.

23. *Мехтиев Ф.С., Мамедова Х.Ф., Гасанов Б.М. и др.* Влияние инновационного маркетинга на эффективность производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6(408). С. 21…27.

REFERENCES

1. *Doyle P.* Value-based marketing: Marketing strategies for corporate growth and shareholder value // Brand Management. 2001. Vol. 8, №6. P. 463…466.

2. *Mero J., Karjaluoto H.* The use of web analytics for digital marketing performance measurement // Industrial Marketing Management. 2015. №50. P. 117…127.

3. *James M., Crick M., Iskandar Hamzah, Crick D.* Managing an entrepreneurial marketing orientation in turbulent competitive business environments // Journal of Strategic Marketing. 2024. P. 1…15. – DOI: 10.1080/0965254X.2024.2445655

4. *Trainor K.J., Andzulis J.M., Rapp A., Agnihotri R.* Social media technology usage and customer relationship performance // Journal of Business Research. 2014. №67(6). P. 1201…1208.

5. *Mamedov J.F., Huseynov Y.R., Ahmadova M.I., etc.* Management strategy of modern technology park: information interaction between university and society // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. №5(419). P. 79…89.

6. *Kumar V.* Evolution of marketing as a discipline: What has happened and what to look out for // Journal of Marketing. 2015. №79(1). P. 1…9.

7. *Dunayev I., Hromov S., Tymchenko Y., Proskurina M.* Explication of the role of digital technologies in marketing management of a modern company // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. №5 (13 (119)). P. 89…99.

8. *Hadiyati E., Mulyono S., Gunadi G.* Digital marketing as a determinant variable for improving the business performance // Innovative Marketing. 2024. №20(3). P. 28…41.

9. *Veríssimo J.M., Tiago M.T.* Digital marketing and social media: Why bother? // Business Horizons. 2014. №57(6). P. 703…708.

10. *Trillo J.R., Herrera-Viedma E., Morente-Molinera J.A., Cabrerizo F.J.* A large scale group decision making system based on sentiment analysis cluster // Information Fusion. 2022. № 91. P. 633…643.

11. *Wedel M., Kannan P.K.* Marketing analytics for data-rich environments // Journal of Marketing. 2016. №80(6). P. 97…121.

12. *Rust R.T., Lemon K.N., Zeithaml V.A.* Return on marketing: Using customer equity to focus marketing strategy // Journal of Marketing. 2004. №68(1). P. 109…127.

13. *Kadatskaya D.V., Lavrova Y.S.* Methodological approaches to the evaluation of the strategic development of entrepreneurship in light industry as the main driver of the development of the region // Creative Economy. 2019. №13(7). P. 1483…1494.

14. *Setini S., Amerta S.M.I., Indiani P.L.N. etc.* Digital Marketing Strategy As A Catalyst For SME Growth In The Modern Era // EKOMBIS REVIEW: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis. 2025. №13(1). P. 951…966. – DOI: 10.37676/ekombis.v13i1.7888

15. *Kotler P.* Fundamentals of Marketing. Short course Translated from English. Publishing house "William", 2007. 656 p. – ISBN 978-5-8459-0376-1.

16. *Homburg C., Jozić D., Kuehnl C.* Customer experience management: Toward implementing an evolving marketing concept // Journal of the Academy of Marketing Science. 2015. №45(1). P. 377…401. – DOI: 10.1007/s11747-015-0460-7

17. *Mammadov J.F., Abdullayev K., Aliyev I.* Evaluation of economic efficiency at the design stages of flexible manufacturing systems // Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologii. 2021. № 18. P. 26…32.

18. *Kerimova M., Kerimov F., Hajiyeva N. etc.* Marketing tools for forming product policy influence // TEC Empresarial. 2025. №20(1). P. 117…127.

19. *Mammadov J., Huseynov Y., Ahmadova M. etc.* Developing a marketing strategy for efficient management of the information environment of the technology park // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. №3 (13 (135)). P. 26…34.

20. *Sanapang G.M., Monalisa M., Syam A. etc.* (2025). Digital Marketing: Strategy & Inovasi Pemasaran Digital. PT. Green Pustaka Indonesia.

21. *Hadi S.S., Ibrahim S.A., Abdipattaev T. etc.* The evolution of marketing strategies for textile products in the era of social media // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4(418). P. 64…73.

22. *Gadjiyeva N.A., Khan-Khoyskaya İ.V., Mamedova KH.F. etc.* Modern problems of marketing in the textile industry of Azerbaijan: challenges and prospects for solutions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4(418). P. 52…63.

23. Mehmiyev F.S., Mammadova H.F., Hasanov B.M. etc. Influence of innovative marketing on production efficiency // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 6(408). P. 21…27.

Рекомендована кафедрой управления и отделом организации и управления научной деятельностью (ОУНД) Азербайджанского технологического университета. Поступила 04.05.26.

УДК 339.9
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_96

ЗАРУБЕЖНЫЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ПУТИ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ*

FOREIGN MODELS OF ORGANIZING TEXTILE INDUSTRY AND WAYS TO TRANSFORM RUSSIAN INDUSTRIAL POLICY

М.Ю. ШЕРЕШЕВА, И.И. САВЕЛЬЕВ, Л.А. ВАЛИТОВА

M.Y. SHERESHEVA, I.I. SAVELEV, L.A. VALITOVA

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

(Lomonosov Moscow State University)

E-mail: m.sheresheva@mail.ru, sii-33@mail.ru, lvalit@gmail.com

Современная текстильная отрасль характеризуется высокой степенью разделения труда, при которой страны с разным уровнем ресурсной обеспеченности и технологического развития встраиваются в глобальные цепочки создания стоимости. Российская текстильная отрасль в настоящее время сталкивается с серьезными вызовами, обусловленными сложной международной обстановкой и санкционным давлением. Ее потенциал достаточно велик и базируется на глубоких исторических основах, однако для его реализации требуется существенная трансформация промышленной политики,

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-18-00075, https://rscf.ru/project/25-18-00075/

отвечающая современным технологическим требованиям и запросам мирового рынка. Цель данной статьи – на основе сравнительного анализа зарубежных моделей организации текстильной отрасли обосновать направления совершенствования российской промышленной политики, обеспечивающей долгосрочную конкурентоспособность национальной текстильной отрасли и ее вклад в технологический суверенитет. Проанализирована с использованием метода Trade in Value Added (TiVA) структура добавленной стоимости в экспорте текстильной и швейной продукции разных стран. На основе сравнительного анализа сделан вывод, что промышленная политика должна быть ориентирована на переход от количественных показателей экспорта к качественным параметрам его структуры. Сформулированы основные направления промышленной политики, позволяющие обеспечить переход российской текстильной отрасли к модели интегрированной добавленной стоимости, сочетающей производственные, химико-технологические и сервисно-дизайнерские компоненты.

The modern textile industry is characterized by a high degree of division of labor, in which countries with varying levels of resource endowment and technological development integrating into global value chains. The Russian textile industry currently faces significant challenges due to the complex international situation and sanctions pressure. Its potential is quite significant and is rooted in deep historical foundations. However, its realization requires a significant transformation of industrial policy to meet contemporary technological requirements and global market demands. The purpose of this article is to use a comparative analysis of foreign textile industry organizational models to substantiate areas for improving Russian industrial policy, ensuring the long-term competitiveness of the national textile industry and its contribution to technological sovereignty. The structure of added value in textile and clothing exports from various countries was analyzed using the Trade in Value Added (TiVA) method. Based on the comparative analysis, it is concluded that industrial policy should focus on shifting from quantitative export indicators to qualitative parameters of their structure. Key industrial policy directions are formulated to ensure the Russian textile industry's transition to an integrated value-added model combining manufacturing, chemical engineering, and service and design components.

Ключевые слова: текстильная отрасль, промышленная политика, глобальные цепочки создания ценности, экспорт, технологический суверенитет.

Keywords: textile industry, industrial policy, global value chains, export, technological sovereignty.

Введение

Российская текстильная отрасль имеет глубокие исторические корни и обладает потенциалом по целому ряду направлений, которые важны для обеспечения технологического суверенитета и повышения уровня жизни населения [5, 6]. Однако этот потенциал остается недоиспользованным в силу сложившихся в постсоветское время сложных условий, а также возросшего санкционного давления [9]. Такая ситуация требует поиска путей структурной трансформации отрасли, и для этого необходимы системные решения в области промышленной политики [4]. Важно создание условий для технологических изменений, без которых невозможно ни повышение обеспеченности современных запросов внутреннего рынка, ни наращивание экспортного потенциала [3]. Это, в свою очередь, требует

обоснованных и продуманных решений по встраиванию в глобальные цепочки создания стоимости (ГЦСС) [7, 11, 13].

В этой связи высока актуальность сравнительного анализа положения российской текстильной отрасли в ГЦСС и выработки на этой основе предложений по корректировке промышленной политики в целях обеспечения долгосрочной конкурентоспособности текстильной отрасли.

Цель исследования, представленного в данной статье, состояла в том, чтобы охарактеризовать модели организации текстильной отрасли в ряде зарубежных стран, где текстильная отрасль выступает локомотивом модернизации производства. К таким странам относятся, в частности, Бангладеш, Вьетнам, Германия, Италия, Китай, Турция, Южная Корея [14…19, 21].

Для реализации данной цели хорошо подходит эмпирическое сопоставление структуры экспорта России и зарубежных стран с использованием подхода Trade in Value Added (TiVA) [20], позволяющего выделить наиболее значимые участки ГЦСС, где создается значительный объем стоимости, и определить, какая часть экспортной выручки формируется внутри изучаемой страны. Это позволит выбрать наиболее перспективные для России элементы зарубежного опыта и предложить обоснованные ориентиры промышленной политики, направленные на формирование долгосрочной конкурентоспособности национальной текстильной отрасли.

Методы

Для целей данного исследования было принято решение использовать подход Trade in Value Added (TiVA), разработанный Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и Всемирной торговой организацией (ВТО) [20]. Его применимость к анализу текстильных ГЦСС обусловлена тем фактом, что торговая статистика, основанная на стоимостных показателях экспорта и импорта товаров, не позволяет адекватно оценить реальный вклад отдельных отраслей и стран в создание конечного продукта, в то время как для текстильной отрасли характерна высокая степень международного разделения труда. Более того, именно в мировой текстильной отрасли ГЦСС выстроены с участием стран, серьезно различающихся по ресурсной обеспеченности и уровню технологического развития.

Система межстрановых межотраслевых таблиц, описывающих производство и использование промежуточных и конечных товаров в глобальном масштабе, позволяет охарактеризовать ГЦСС для изучаемых стран и секторов, проследив движение стоимости от первых до заключительных этапов, когда товар попадает к конечному пользователю.

Метод дает возможность учесть внутреннюю неоднородность отрасли (согласно международной классификации ISIC Rev. 4, отрасль охватывает три крупных подотрасли: Производство текстильных изделий (C13), Производство одежды (C14), Производство кожи, изделий из кожи и обуви (C15)) и определить вклад смежных отраслей, играющих ключевую роль в формировании экспортной стоимости, а именно химической промышленности (C20), сельского хозяйства (A01), машиностроения (C28), энергетики и коммунальных услуг (D35, E36), транспорта и логистики (H49–H52), разного рода услуг (J, M, N, G).

Соответственно, применение метода TiVA позволяет перейти от простого учета экспорта продукции и анализа валовых объемов торговли к анализу структуры создания стоимости и исследованию качественного характера участия страны в международных производственных системах. Это дает возможность выявить структурные узкие места – отрасли, которые создают минимальную добавленную стоимость, и направления, где возможно ее наращивание. На этой основе можно сформировать стратегию перехода от ресурсно-сырьевой модели текстильного экспорта к интегрированной модели высокой добавленной стоимости, где наряду с производством развиваются химико-технологические, дизайнерские и сервисные звенья цепочки.

Следует отметить, что российская текстильная отрасль в настоящее время ориентирована преимущественно на внутренний рынок, а ее экспортные показатели оста-

ются относительно ограниченными. В этой связи применение подхода TiVA в данном исследовании не направлено на оценку экспортной конкурентоспособности России в узком смысле, а используется как инструмент структурного сопоставления моделей формирования добавленной стоимости в международных цепочках. Анализ позволяет выявить различия в глубине технологической интеграции, степени сервисной и химико-технологической составляющей, а также характере межотраслевых связей, что имеет значение для формирования промышленной политики независимо от текущего уровня экспорта.

Результаты и обсуждения

Проведенный анализ на основе TiVA [18] (табл. 1 – структура добавленной стоимости в экспорте текстильной и швейной продукции) демонстрирует, что долгосрочная конкурентоспособность текстильной отрасли любой страны на современном этапе обусловлена повышением сложности и глубины создаваемой добавленной стоимости. Это связано с тем, что мировая текстильная промышленность представляет собой одну из наиболее сложных и глобализированных систем отраслевого взаимодействия.

Таблица 1

		Россия	Бангладеш	Вьетнам	Германия	Италия	Китай	Турция	Южная Корея
_T	Total - All activities	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
A	**Agriculture, forestry and fishing**	**2,9%**	**3,8%**	**5,0%**	**1,1%**	**1,6%**	**13,6%**	**12,0%**	**2,0%**
A01	Crop and animal production, hunting and related service activities	2,8%	3,3%	4,6%	1,0%	1,5%	13,1%	11,8%	1,8%
A01_02	Crop and animal production, hunting and related service activities; Forestry and logging	2,8%	3,7%	4,8%	1,1%	1,5%	13,4%	12,0%	2,0%
A02	Forestry and logging	0,1%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%	0,2%
A03	Fishing and aquaculture	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%
B	**Mining and quarrying**	**2,1%**	**0,8%**	**4,5%**	**1,8%**	**0,9%**	**2,9%**	**2,4%**	**3,5%**
B05	Mining of coal and lignite	0,1%	0,1%	1,0%	0,1%	0,1%	0,9%	0,2%	0,4%
B05_06	Mining and extraction of energy producing products	1,6%	0,7%	2,3%	1,5%	0,7%	2,4%	2,1%	2,8%
B06	Extraction of crude petroleum and natural gas	1,5%	0,6%	1,4%	1,3%	0,6%	1,6%	1,9%	2,4%
B07	Mining of metal ores	0,1%	0,1%	1,8%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%
B07_08	Mining and quarrying of non-energy producing products	0,2%	0,1%	2,0%	0,2%	0,2%	0,4%	0,3%	0,5%
B08	Other mining and quarrying	0,1%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
B09	Mining support service activities	0,2%	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%
BTE	Industry (except construction)	65,6%	80,3%	65,2%	61,5%	54,6%	61,7%	59,6%	61,5%

Продолжение табл. 1

C	Manufacturing	61,3%	78,7%	57,3%	57,3%	51,6%	57,4%	55,3%	55,8%
C10T12	Manufacture of food products; beverages and tobacco products	0,4%	0,3%	0,6%	0,3%	0,5%	1,2%	0,6%	0,6%
C13T15	Manufacture of textiles, wearing apparel, leather and related products	53,2%	75,8%	41,0%	43,0%	43,7%	46,7%	46,6%	36,5%
C16	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials	0,1%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,3%
C16T18	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials; manufacture of paper and paper products; printing and reproduction of recorded media	0,5%	0,2%	1,3%	1,3%	0,6%	0,6%	0,8%	1,5%
C17_18	Manufacture of paper and paper products; printing and reproduction of recorded media	0,4%	0,1%	1,2%	1,1%	0,5%	0,5%	0,7%	1,2%
C19	Manufacture of coke and refined petroleum products	1,1%	0,2%	1,0%	0,5%	0,3%	0,8%	0,6%	1,0%
C19T23	Manufacture of chemicals and non-metallic mineral products	4,9%	1,9%	8,3%	7,1%	3,4%	6,5%	5,3%	8,5%
C20	Manufacture of chemicals and chemical products	3,0%	0,8%	4,3%	4,5%	1,7%	4,4%	3,7%	4,7%
C20_21	Manufacture of chemicals and pharmaceuticals	3,1%	0,9%	4,4%	5,1%	1,9%	4,5%	3,9%	4,9%
C21	Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	0,1%	0,0%	0,1%	0,6%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%
C22	Manufacture of rubber and plastics products	0,5%	0,7%	2,6%	1,1%	1,0%	1,0%	0,6%	2,3%
C23	Manufacture of other non-metallic mineral products	0,2%	0,1%	0,3%	0,4%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%
C24	Manufacture of basic metals	0,5%	0,2%	1,0%	0,5%	0,4%	0,5%	0,3%	0,8%

Продолжение табл. 1

C24_25	**Manufacture of basic metals and fabricated metal products, except machinery and equipment**	**0,9%**	**0,3%**	**2,3%**	**2,1%**	**1,1%**	**0,8%**	**0,7%**	**1,9%**
C241_2431	Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys; of tubes, pipes, hollow profiles, related fittings and other products of first processing of steel; casting of iron and steel	0,2%	0,1%	0,5%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,5%
C242_2432	Manufacture of basic precious and other non-ferrous metals; casting of light metals and other non-ferrous metals	0,3%	0,1%	0,5%	0,2%	0,1%	0,3%	0,1%	0,4%
C25	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	0,4%	0,1%	1,3%	1,6%	0,8%	0,3%	0,4%	1,1%
C26	Manufacture of computer, electronic and optical products	0,2%	0,1%	1,8%	0,4%	0,2%	0,4%	0,2%	1,6%
C26_27	Manufacture of computer, electronic and optical products; manufacture of electrical equipment	0,3%	0,1%	2,4%	0,7%	0,5%	0,7%	0,3%	2,1%
C27	Manufacture of electrical equipment	0,1%	0,1%	0,5%	0,4%	0,2%	0,3%	0,2%	0,5%
C28	Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	0,3%	0,1%	0,6%	1,3%	0,6%	0,5%	0,2%	0,8%
C29	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	0,1%	0,0%	0,1%	0,5%	0,3%	0,2%	0,1%	0,5%
C29_30	Manufacture of motor vehicles, trailers, semi-trailers and of other transport equipment	0,3%	0,1%	0,2%	0,5%	0,4%	0,3%	0,2%	0,7%
C30	Manufacture of other transport equipment	0,2%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%
C301	Building of ships and boats	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
C302T309	Manufacture of railroad equipment, aircraft, military fighting vehicles and other transport equipment n.e.c	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%

Продолжение табл. 1

C31T33	**Manufacture of furniture; jewellery, musical instruments, toys, etc.; repair and installation of machinery and equipment**	**0,5%**	**0,1%**	**0,6%**	**0,9%**	**0,7%**	**0,1%**	**0,7%**	**3,1%**
D	**Electricity, gas, steam and air conditioning supply**	**2,0%**	**0,4%**	**3,0%**	**1,4%**	**1,4%**	**1,4%**	**1,6%**	**1,7%**
D_E	Electricity, gas, steam and air conditioning supply; Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	2,3%	0,8%	3,4%	3,1%	2,1%	1,5%	1,9%	2,3%
E	**Water supply; sewerage, waste management and remediation activities**	**0,3%**	**0,4%**	**0,4%**	**1,7%**	**0,7%**	**0,1%**	**0,3%**	**0,6%**
F	**Construction**	**0,5%**	**0,1%**	**0,4%**	**1,1%**	**0,9%**	**0,1%**	**0,3%**	**0,4%**
FTT	Total services (incl. construction)	31,5%	15,8%	29,9%	36,7%	43,9%	24,7%	28,3%	36,4%
G	**Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles**	**13,4%**	**9,8%**	**17,6%**	**12,2%**	**14,5%**	**14,3%**	**12,6%**	**15,2%**
GTI	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles; transportation and storage; accommodation and food service activities	18,0%	12,5%	22,0%	17,1%	20,4%	19,1%	18,4%	21,6%
GTN	Services of the business economy - sections G to N	30,2%	15,4%	29,0%	34,0%	40,7%	24,3%	27,3%	34,7%
GTT	Services (except extra-territorial organisations and bodies)	31,1%	15,7%	29,5%	35,6%	42,9%	24,6%	28,0%	36,0%
H	**Transportation and storage**	**4,4%**	**2,6%**	**3,9%**	**4,5%**	**5,1%**	**4,4%**	**5,4%**	**5,4%**
H49	Land transport and transport via pipelines	2,8%	1,3%	2,0%	1,8%	2,7%	2,5%	3,8%	2,9%
H50	Water transport	0,2%	0,4%	0,4%	0,2%	0,3%	0,6%	0,3%	0,3%
H51	Air transport	0,2%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%
H52	Warehousing and support activities for transportation	1,1%	0,5%	1,0%	1,5%	1,8%	0,9%	0,8%	1,7%
H53	Postal and courier activities	0,1%	0,1%	0,2%	0,7%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%
I	**Accommodation and food service activities**	**0,2%**	**0,1%**	**0,5%**	**0,3%**	**0,9%**	**0,3%**	**0,3%**	**1,0%**

Продолжение табл. 1

INFO	**Information industries**	**1,3%**	**0,4%**	**2,8%**	**3,2%**	**2,6%**	**0,9%**	**1,5%**	**3,7%**
J	**Information and communication**	**1,1%**	**0,3%**	**0,9%**	**2,8%**	**2,4%**	**0,5%**	**1,4%**	**2,0%**
J58T60	Publishing, motion picture, video, television programme production; sound recording, programming and broadcasting activities	0,1%	0,1%	0,1%	0,5%	0,3%	0,1%	0,2%	0,3%
J61	Telecommunications	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,7%	0,2%	0,6%	0,7%
J62_63	Computer programming, consultancy, and information service activities	0,7%	0,1%	0,5%	1,9%	1,4%	0,2%	0,6%	1,1%
JTN	Information and communication; Financial intermediation; Real estate; Professional and business suport services	12,2%	2,8%	7,0%	17,0%	20,2%	5,3%	8,9%	13,1%
K	**Financial and insurance activities**	**3,7%**	**1,0%**	**2,6%**	**2,1%**	**4,1%**	**2,0%**	**2,6%**	**3,4%**
L	**Real estate activities**	**2,6%**	**0,4%**	**0,9%**	**3,1%**	**3,8%**	**0,6%**	**1,5%**	**2,2%**
M	**Professional, scientific and technical activities**	**2,3%**	**0,6%**	**1,6%**	**4,9%**	**6,1%**	**1,3%**	**2,0%**	**2,7%**
M_N	Professional, scientific and technical activities; administrative and support service activities	4,8%	1,2%	2,6%	9,0%	10,0%	2,2%	3,5%	5,5%
N	**Administrative and support service activities**	**2,6%**	**0,6%**	**1,0%**	**4,1%**	**3,9%**	**0,9%**	**1,5%**	**2,8%**
O	**Public administration and defence; compulsory social security**	**0,6%**	**0,1%**	**0,1%**	**0,7%**	**0,8%**	**0,0%**	**0,4%**	**0,2%**
OTQ	Public administration, defence, education, human health and social work activities	0,7%	0,1%	0,2%	0,9%	1,3%	0,1%	0,5%	0,6%
OTT	Public admin, education and health; social and personal services	0,9%	0,3%	0,4%	1,5%	2,2%	0,3%	0,7%	1,3%
P	**Education**	**0,1%**	**0,0%**	**0,1%**	**0,1%**	**0,3%**	**0,0%**	**0,1%**	**0,2%**
Q	**Human health and social work activities**	**0,1%**	**0,0%**	**0,1%**	**0,0%**	**0,1%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,2%**
R	**Arts, entertainment and recreation**	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,1%**	**0,6%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,3%**

Окончание табл. 1

R_S	**Arts, entertainment and recreation; Other service activities**	**0,1%**	**0,1%**	**0,2%**	**0,6%**	**1,0%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,7%**
RTT	Arts, entertainment and recreation; Other service activities; Activities of households as employers	0,1%	0,1%	0,2%	0,6%	1,0%	0,2%	0,2%	0,7%
S	Other service activities	0,1%	0,1%	0,2%	0,5%	0,4%	0,1%	0,2%	0,4%
T	**Activities of households as employers; undifferentiated goods- and services-producing activities of households for own use**		**0,0%**	**0,0%**			**0,0%**	**0,0%**	

Важно подчеркнуть, что полученные результаты для России следует интерпретировать не как характеристику ее экспортной специализации, а как индикатор текущей структуры межотраслевых связей и потенциальных направлений углубления добавленной стоимости. Даже при ограниченной экспортной ориентации отрасли структура ВДС отражает степень ее технологической и институциональной зрелости.

Анализ показывает, что в структуре отрасли можно выделить несколько устойчивых моделей, различающихся по уровню технологического развития, характеру специализации и степени интеграции в международные производственные цепочки. Эти модели сформировались в зависимости от сочетания исторических, институциональных и ресурсных факторов, а также от промышленной политики соответствующих государств.

Китай является примером наиболее глубоко интегрированной и технологически полной модели развития отрасли. Здесь создан практически замкнутый производственный контур – от нефтехимического производства и синтетических волокон до выпуска тканей, готовых изделий и оборудования. Текстильные кластеры, сосредоточенные в провинциях Чжэцзян, Цзянсу и Гуандун, обеспечивают внутреннюю связанность между химией, машиностроением, энергетикой и швейными предприятиями [8]. Китай постепенно смещает акценты с массового пошива на выпуск технических тканей, нетканых материалов, гео- и медтекстиля, формируя высокотехнологичный сегмент экспорта [22].

На противоположном полюсе находится модель **Бангладеш**, представляющая собой типичный пример сборочной экономики по схеме *Cut-Make-Trim.* Страна обеспечивает крупномасштабное производство одежды для международных брендов, однако структура ее добавленной стоимости остается крайне узкой: ткани, фурнитура и химикаты импортируются, а локальная ВДС формируется преимущественно в низкопроизводительных сегментах [17]. Такая модель обеспечивает краткосрочную занятость и экспортный доход, но не приводит к развитию технологических компетенций.

Вьетнам демонстрирует промежуточный тип модели [19]. Значительная часть цепочки поставок по-прежнему зависит от импортных материалов, однако в стране развиваются собственные отделочные и химические мощности, а также логистическая инфраструктура. Вьетнам специализируется на производстве спортивной и функциональной одежды, активно интегрируясь в азиатские и европейские цепочки поставок. Это пример постепенного перехода от сборочной к интегрированной модели, при ко-

торой технологическое и организационное развитие сопровождает рост экспорта.

Германия представляет собой технологическую и инженерную модель развития текстильного сектора. Основное производство сосредоточено не в пошиве, а в выпуске технических тканей, композитов и оборудования для текстильной промышленности. Кластеры в Северном Рейне-Вестфалии, Саксонии и Баварии объединяют промышленные предприятия, научно-исследовательские институты и инжиниринговые центры. Эта модель ориентирована на создание наукоемкой добавленной стоимости и инновационных материалов, а не на массовое производство [12, 15].

Италия, напротив, демонстрирует дизайнерско-ремесленную модель, в которой основная стоимость формируется в нематериальных звеньях цепочки – дизайне, бренде, финишной отделке и маркетинге. Итальянские текстильные кластеры в Бьелле, Комо и Тоскане представляют собой совокупность малых и средних предприятий, специализирующихся на производстве тканей высокого качества, шелка, шерсти и готовых изделий премиум-класса [16]. Здесь ключевую роль играет институциональная поддержка малых предприятий, экспортных брендов и национальной марки "Made in Italy", обеспечивающей международную узнаваемость и высокую ренту на интеллектуальную собственность.

Турция сочетает черты производственной и сервисной интеграции [14]. Ее текстильные кластеры (Бурса, Газиантеп, Денизли, Стамбул) образуют связанную систему от производства волокон до логистики и дизайна. Близость к рынкам Европы позволяет Турции конкурировать не за счет низкой стоимости труда, а благодаря скорости поставок и адаптивности. Это модель "регионального интегратора", обеспечивающая баланс между производством, переработкой и услугами.

Южная Корея представляет собой пример химико-материаловедческой модели. Основная часть добавленной стоимости создается в производстве функциональных волокон, мембран и технических тканей, а также в НИОКР-сегменте [18]. Здесь сосредоточено производство спортивных, защитных и интеллектуальных текстильных материалов, а ключевым источником конкурентоспособности являются инновации и прикладная наука.

Таким образом, мировой опыт позволяет выделить несколько типовых моделей развития отрасли: сборочную (Бангладеш), интеграционную (Турция, Вьетнам), полную производственную (Китай), технологическую (Германия, Южная Корея) и дизайнерско-брендовую (Италия). Прямое ценовое соперничество с низкозатратными странами Юго-Восточной Азии в сегменте массового трудоемкого пошива для России существенно ограничено. Вместе с тем возможны ценовые преимущества в материалоемких звеньях цепочки, поскольку в текстильной и швейной промышленности основной объем себестоимости продукции обусловлен затратами на ткани, пряжу и другие материалы, которые в зависимости от продукта могут составлять значительную долю стоимости (по оценкам отраслевых источников, нередко порядка 40…70% стоимости конечного изделия) (https://itmf.org/images/dl/press-releases/2022/2022-06-02-IPCC-Press-Release.pdf). До 80% продукции в ряде производственных сегментов изготавливается из отечественных материалов [2], что отражает высокую материалоемкость технологического процесса и делает стратегически значимой локализацию цепочек "сырье → материалы → продукция". Такие параметры себестоимости создают предпосылки для формирования конкурентных преимуществ за счет интегрированной цепочки добавленной стоимости. Потенциал устойчивого развития отрасли лежит в переходе к гибридной модели, сочетающей немецкий акцент на технологичности, стандартизации и материаловедении с итальянской ориентацией на дизайн, отделку и нематериальную добавленную стоимость.

Полученные результаты подтверждают, что ключевой фактор успешного развития отрасли – не рост валового объема экспорта, а повышение доли национальной ВДС и усложнение ее отраслевой структуры.

Выводы и рекомендации

Результаты анализа добавленной стоимости (ВДС) в экспорте текстильной и швейной продукции на основе данных TiVA позволяют сформулировать ряд рекомендаций для промышленной политики России.

Промышленная политика должна быть ориентирована на переход от количественных показателей экспорта к качественным параметрам его структуры, а также на развитие отраслей-доноров добавленной стоимости, связанных с текстильным производством.

1. Стратегическая цель

Обеспечить переход российской текстильной отрасли к модели интегрированной добавленной стоимости, сочетающей производственные, химико-технологические и сервисно-дизайнерские компоненты, что позволит повысить устойчивость, конкурентоспособность и вклад отрасли в экономический рост.

2. Основные направления промышленной политики:

2.1. Технологическое и химическое углубление

Развивать национальную химическую индустрию волокон и красителей, включая синтетические нити, нетканые материалы, технические ткани, смесовые волокна и переработку текстильных отходов.

Стимулировать кооперацию между текстильными предприятиями и химическими кластерами (в Ивановской, Московской, Нижегородской, Пензенской областях).

Расширить программы НИОКР и технологического инжиниринга в сегментах текстильной химии и материаловедения через поддержку Минпромторга и Фонда развития промышленности.

2.2. Развитие индустриального дизайна и брендов

Создать систему национальных центров индустриального дизайна и моды, интегрированных с производственными площадками.

Включить дизайн и маркетинг в приоритетные направления экспортной поддержки Российского экспортного центра (РЭЦ).

Стимулировать создание национальных брендов одежды и технического текстиля с ориентацией на внутренний, евразийский и ближневосточный рынки.

Поддерживать программы подготовки дизайнеров и инженеров легкой промышленности (на базе МГУДТ, РГУ им. Косыгина, МГУ и профильных колледжей).

2.3. Развитие региональной производственной интеграции

Укрепить кооперационные связи в рамках ЕАЭС, БРИКС и СНГ: поставки хлопка и тканей из Узбекистана, синтетических материалов из Казахстана, машин и оборудования из Белоруссии.

Создать совместные индустриальные кластеры и технопарки, объединяющие производство волокон, тканей, одежды и сопутствующих услуг (логистика, сертификация, инжиниринг).

Использовать потенциал России как транспортно-логистического хаба между Центральной Азией, Ближним Востоком и Европой.

2.4. Повышение сервисной и нематериальной добавленной стоимости

Включить услуги дизайна, маркетинга, R&D и логистики в систему субсидирования экспорта легкой промышленности.

Создать институциональные стимулы для "цепочек знаний" – развитие консалтинговых, инженерных и технологических сервисов, сопровождающих текстильное производство, а также механизмов передачи и внедрения технологических разработок (через кооперацию с вузами/НИИ, инжиниринговые центры, лицензирование и иные формы коммерциализации), что особенно важно для предприятий легкой промышленности [1].

Развивать цифровые платформы торговли и B2B-интеграции (электронные площадки для российских и зарубежных заказчиков).

3. Инструменты реализации

Использовать специальные инвестиционные контракты (СПИК) и индустриальные кластеры для создания вертикально интегрированных цепочек.

Развивать механизмы проектного финансирования и компенсации части процентной ставки по инвестициям в оборудование и НИОКР.

Расширить применение инструментов региональной промышленной политики – налоговых льгот, субсидий на транспортировку, компенсаций на энергоемкое производство.

Ввести показатель “внутренняя добавленная стоимость” как KPI для отраслевых программ и национальных проектов, аналогичный показателям локализации в автопроме.

4. Ключевые ориентиры и ожидаемые эффекты

Реализация указанных направлений позволит:

увеличить долю национальной ВДС в экспорте текстильной продукции с 70…75 % до 80…85 % при росте доли высокотехнологичных и сервисных отраслей;

повысить связанность отрасли с химией, машиностроением и услугами, создавая мультипликативный эффект на смежные сектора;

сформировать экспортную нишу "технический и дизайнерский текстиль", конкурентоспособную на рынках ЕАЭС, БРИКС, Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии;

увеличить долю нематериальной ВДС (дизайн, бренд, маркетинг) в структуре отраслевого экспорта не менее чем до 20 % к 2030 году.

Подобная стратегия предполагает развитие технического текстиля, нетканых материалов и высококачественного финиша, создание индустриальных центров дизайна и брендинга, а также формирование региональной интеграции с партнерами по ЕАЭС в производстве сырья и промежуточных материалов. В долгосрочной перспективе именно такая комбинация – технологическая глубина по германскому образцу и культурно-брендовая капитализация по итальянскому – может обеспечить российской текстильной отрасли устойчивую нишу в глобальных цепочках создания стоимости, повысить ее вклад в национальную экономику и позволит перейти от ресурсной модели к индустриально-инновационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Генералова А.В., Силаков А.В.* Выбор механизма передачи технологических разработок для легкой промышленности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14. № 5. С. 59…71. – DOI: 10.18721/JE.14505
2. *Горбашко Е.А., Леонов С.А., Малевская-Малевич Е.Д.* Современное состояние и перспективные тенденции текстильной отрасли легкой промышленности России // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1 (379). С. 23…28.
3. *Долженко И.Б.* Российская текстильная и швейная промышленность в условиях технологических перемен и перспективы экспорта одежды и текстиля из России // Журнал прикладных исследований. 2024. № 9. С. 67…73.
4. *Ловкова Е.С. и др.* Государственная поддержка текстильной и легкой промышленности на российском рынке // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 5. С. 61…66.
5. *Оборин М.С., Савельев И.И.* Современные достижения в текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1. С. 17…23.
6. Очарование текстиля: теоретические аспекты и практические рекомендации формирования национального центра индустрии моды на базе традиционных и перспективных производств: моногр. / под ред. С.С. Мишурова и др. Иваново: ИВГПУ, 2023. 174 с.
7. *Романов И.Г.* Современные тенденции развития глобальных цепочек создания стоимости в мировой экономике // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2025. Т. 60, № 2. С. 106…125.
8. *Шерешева М.Ю. и др.* Маркетинговые аспекты развития предприятий текстильной отрасли в Китае // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4. С. 20…26.
9. *Третьяк Д.В.* Современное положение индустрии моды России – испытания на прочность // Modern Economy Success. 2022. № 5. С. 66…74.
10. *Atkar et al.* Current limitations and challenges in the global textile sector // Fundamentals of Natural Fibres and Textiles. Woodhead Publishing. 2021, P. 741…764.
11. *Chikhun L., Romanov I.* Factors determining participation of developing countries in global value chains // BRICS Journal of Economics. 2023. Vol. 4, № 2. P. 225…242. – https://doi.org/10.3897/brics-econ.4.e101915
12. *Fromhold-Eisebith M. et al.* Torn between digitized future and context dependent past–how implementing ‘Industry 4.0’production technologies could transform the German textile industry. Technological Forecasting and Social Change. 2021. № 166. 120620.

13. *Gereffi G.* Global value chains, development, and emerging economies // Business and Development Studies. London: Routledge. 2019. P. 125…158.

14. *Halife H.* Competitiveness analysis of textile industry of Turkey: Revealed comparative advantage approach // International Journal of Global Business and Competitiveness. 2022. Vol. 17 (Suppl 1). P. 25…30.

15. *Hirsch-Kreinsen H. et al.* Torn Between Digitized Future and Context-Dependent Past: How Digitalization Processes Unfold in the German Technical Textiles Industry // Technological Forecasting & Social Change. 2021. Vol. 170. № 120920.

16. Italy Textile Manufacturing Industry – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2024–2030). Hyderabad: Mordor Intelligence, 2024.

17. *Khatun et al.* Readymade garments industry in Bangladesh: an analysis of the value chain // CPD Policy Brief. 2024. № 1. P. 1…8.

18. *Lee et al.* Revisiting the Miracle: Korea's industrial upgrading from a global value chain perspective // Development with Global Value Chains: Upgrading and Innovation in Asia, 2018. № 316. P. 290…322.

19. *Nguyen T.T.H., Bui Q.T.T. Analyzing* Vietnam's textile garment global supply chain with the revealed comparative advantage // Journal of Economics and Sustainable Development. 2023. Vol. 14, № 5. P. 44…55.

20. OECD. Trade in Value Added (TiVA) Database: 2023 Edition. Paris: OECD Publishing, 2023. – https://www.oecd.org/sti/ind/measuring-trade-in-value-added.htm (дата обращения: 18.10.2025).

21. *Yaprakl ı Ş.* Competitiveness analysis of textile industry of Turkey: revealed comparative advantage approach // Journal of Industrial and Business Economics. 2022. Vol. 49, № 4. P. 861…879.

22. *Zhang J., Donzé P.-Y.* Knowledge upgrade in the Chinese apparel industry, 1980–2020 // Enterprise & Society. 2023. Vol. 24, № 3. P. 625…656.

REFERENCES

1. *Generalova A.V., Silakov A.V.* Choice of mechanism for technology transfer in the light industry. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2021, 14(5), 59…71. – https://doi.org /10.18721/JE.14505

2. *Gorbashko E.A., Leonov S.A., Malevskaya-Malevich E.D.* The current state and future trends of the textile branch of the light industry of Russia // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2019, 1(379), 23…28.

3. *Dolzhenko I.B.* Russian textile and clothing industry in the context of technological change and prospects for the export of clothing and textiles from Russia // Journal of Applied Research. 2024. No. 9. 67…73.

4. *Lovkova E.S. et al.* Government support for textile and light industry on the Russian market // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. № 5. P. 61…66.

5. *Oborin M.S., Savelyev I.I.* Modern achievements in textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 1(409). P. 17…23.

6. The charm of textiles: theoretical aspects and practical recommendations for the formation of a national center for the fashion industry based on traditional and promising industries: monograph / edited by S.S. Mishurov et al. Ivanovo: IVGPU. 2023. 174 p.

7. *Romanov I.G.* Current trends of global value chains in the world economy // Lomonosov Economics Journal. 2025. Vol. 60, № 2. P. 106…125.

8. *Sheresheva M.YU. et al.* Marketing aspects of textile industry enterprises development in China // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 4. P. 20…26.

9. *Tretyak D.V.* The current state of the Russian fashion industry – a test of strength // Modern Economy Success. 2022. No. 5. P. 66…74.

10. *Atkar et al.* Current limitations and challenges in the global textile sector // Fundamentals of Natural Fibres and Textiles. Woodhead Publishing. 2021, P. 741…764.

11. *Chikhun L., Romanov I.* Factors determining participation of developing countries in global value chains // BRICS Journal of Economics. 2023. Vol. 4, № 2. P. 225…242. – https://doi.org/10.3897/brics-econ.4.e101915

12. *Fromhold-Eisebith M. et al.* Torn between digitized future and context dependent past–how implementing 'Industry 4.0'production technologies could transform the German textile industry. Technological Forecasting and Social Change. 2021. № 166. 120620.

13. *Gereffi G.* Global value chains, development, and emerging economies // Business and Development Studies. London: Routledge. 2019. P. 125…158.

14. *Halife H.* Competitiveness analysis of textile industry of Turkey: Revealed comparative advantage approach // International Journal of Global Business and Competitiveness. 2022. Vol. 17 (Suppl 1). P. 25…30.

15. *Hirsch-Kreinsen H. et al.* Torn Between Digitized Future and Context-Dependent Past: How Digitalization Processes Unfold in the German Technical Textiles Industry // Technological Forecasting & Social Change. 2021. Vol. 170. № 120920.

16. Italy Textile Manufacturing Industry – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2024–2030). Hyderabad: Mordor Intelligence, 2024.

17. *Khatun et al.* Readymade garments industry in Bangladesh: an analysis of the value chain // CPD Policy Brief. 2024. № 1. P. 1…8.

18. *Lee et al.* Revisiting the Miracle: Korea's industrial upgrading from a global value chain perspective // Development with Global Value Chains: Upgrading and Innovation in Asia, 2018. № 316. P. 290…322.

19. *Nguyen T.T.H., Bui Q.T.T.* Analyzing Vietnam's textile garment global supply chain with the revealed comparative advantage // Journal of Economics and Sustainable Development. 2023. Vol. 14, № 5. P. 44…55.

20. *OECD.* Trade in Value Added (TiVA) Database: 2023 Edition. Paris: OECD Publishing, 2023.

https://www.oecd.org/sti/ind/measuring-trade-in-value-added.htm (accessed: 09.10.2025).

21. *Yaprakli Ş.* Competitiveness analysis of textile industry of Turkey: revealed comparative advantage approach // Journal of Industrial and Business Economics. 2022. Vol. 49, № 4. P. 861…879.

22. *Zhang J., Donzé P.-Y.* Knowledge upgrade in the Chinese apparel industry, 1980–2020 // Enterprise & Society. 2023. Vol. 24, № 3. P. 625…656

Рекомендована лабораторией институционального анализа МГУ им. М.В.Ломоносова. Поступила 04.12.25.

УДК 005.6
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_109

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ ЕДИНОГО ЦИФРОВОГО КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

CONCEPTUALIZATION AND PRACTICAL TESTING OF UNIFIED DIGITAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR INDUSTRIAL ENTERPRISE

И.А. НАУГОЛЬНОВА[1], И.П. ВАСИЛЬЕВА[2], А.Ю. АБУЗОВ[3]

I.A. NAUGOLNOVA[1], I.P. VASILYEVA[2], A.YU. ABUZOV[3]

**([1]Самарский государственный медицинский университет,
[2]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет),
[3]Самарский государственный экономический университет)**

**([1]Samara State Medical University,
[2]Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev (Samara University),
[3]Samara State University of Economics)**

E-mail: naugolnovaia@mail.ru

В статье выявлены системные ограничения традиционных систем менеджмента качества, основанных на постфактум-контроле результатов, в условиях цифровизации сложных производств, включая предприятия текстильной промышленности, характеризующиеся высокой вариабельностью технологических параметров и качества сырья. Разработана концепция единого цифрового контура управления качеством продукции, раскрыта его структура, основанная на интеграции отечественных информационных систем (PLM, ERP, MES, QMS, SCADA) и технологиях сбора данных, предложен алгоритм его работы, реализующий принципы сквозной цифровой нити и замкнутого цикла PDCA.

Предложена концептуальная модель, которая может служить основой для построения проактивных систем управления качеством на промышленных предприятиях, ориентированных на предотвращение дефектов, сокращение потерь и повышение устойчивости процессов.

Новизна работы состоит в формировании целостной концепции единого цифрового контура управления качеством, основанной на системной интеграции отечественных информационных решений, что способствует развитию методологического аппарата теории управления качеством в условиях цифровой трансформации промышленности.

The article identifies systemic limitations of traditional quality management systems based on post-factum inspection of results under the conditions of digitalization of complex manufacturing systems, including textile enterprises, characterized by high variability of technological parameters and raw material quality. The concept of a unified digital product quality management system is developed, its structure is revealed, based on the integration of domestic information systems (PLM, ERP, MES, QMS, SCADA) and data collection technologies, and an operating algorithm is proposed that implements the principles of an end-to-end digital thread and a closed-loop PDCA.

A conceptual model is proposed that can serve as the basis for developing proactive quality management systems in industrial enterprises focused on defect prevention, loss reduction, and increased process sustainability.

The scientific novelty of the work consists in the formation of a holistic concept of a unified digital quality management loop based on the systemic integration of domestic information solutions, contributing to the development of the methodological framework of quality management theory in the context of industrial digital transformation.

Ключевые слова: система менеджмента качества, единый цифровой контур, цифровая нить, проактивное управление качеством, цифровые двойники.

Keywords: quality management system, unified digital loop, digital thread, proactive quality management, digital twins.

Система менеджмента качества (СМК), требования к которой регламентированы стандартом ISO 9001 (ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования), базируется на принципе соответствия продукции установленным требованиям заказчика и нормативной документации. Для текстильной промышленности данное положение имеет особую значимость, поскольку требования к качеству тканей и трикотажа (прочность, равномерность, усадка, окраска, поверхностные дефекты) формируются на разных стадиях технологической цепочки и во многом зависят от стабильности режимов процесса. Несмотря на декларируемую в стандарте процессную ориентацию управления производством и применение цикла PDCA, на практике во многих промышленных системах СМК сохраняет преимущественно постфактум-характер, при котором ключевым инструментом управления выступает контроль результатов уже выполненных производственных операций. В такой модели качество интерпретируется как атрибут готового изделия, а не как свойство, формируемое и управляемое в ходе всего жизненного цикла продукта. В текстильной промышленности подобный подход приводит к выявлению дефектов (полосатость, неоднородность плотности, отклонения цвета и др.) лишь на стадии выходного контроля, когда затраты на их устранение или утилизацию продукции становятся экономически значимыми. Соответственно, отклонения выявляются на завершающих стадиях производства или приемочного контроля, что объективно трансформирует систему менеджмента качества в механизм фиксации несоответствий, а не их предотвращения [1].

Подобный подход является методологически и экономически оправданным в условиях относительно простых и устойчивых технологических процессов, где вариабельность параметров ограничена, а стоимость исправления дефектов на поздних стадиях не является критичной [2]. Именно в таких условиях исторически развивались статистические методы контроля качества, ориентированные на выборочный контроль и допущение определенного уровня брака, что

подробно отражено в работах У. Шухарта [3] и последующих исследованиях в области статистического управления процессами. Однако по мере повышения технологической сложности продукции, числа выполняемых операций, доли нематериальных факторов качества (точность, надежность, функциональная согласованность, цифровые параметры) постфактум-контроль имеет системные ограничения [4]. Экономические последствия выявления дефектов на выходе из процесса многократно возрастают, что соответствует хорошо известной концепции экспоненциального роста стоимости исправления ошибок на поздних стадиях жизненного цикла, представленной в трудах Дж. Джурана [5] и Ф. Кросби [6].

В высокотехнологичных отраслях – авиационной, космической, приборостроительной, микроэлектронике – качество формируется как результат сложного взаимодействия проектных решений, параметров оборудования, цифровых моделей, программного обеспечения и человеческого фактора [7]. Аналогичные закономерности характерны и для современных текстильных предприятий, использующих автоматизированные линии, цифровые системы управления оборудованием, системы технического зрения и датчики контроля параметров процессов [8…10]. В таких системах дефект редко носит локальный характер и, как правило, является следствием накопления микроскопических отклонений на предшествующих этапах. Это делает традиционную модель системы менеджмента качества, ориентированную на выявление несоответствий в готовом изделии, организационно инерционной и экономически неэффективной.

Современные исследования в области Total Quality Management, Lean Production и Industry 4.0 подчеркивают, что управление качеством в сложных производственных системах должно быть смещено от контроля результата к управлению процессом и условиями его протекания, включая мониторинг параметров в реальном времени, предиктивную аналитику и встроенные механизмы предотвращения дефектов [11…14].

Данный вывод подтверждается как теоретическими работами Э. Деминга, настаивавшего на недопустимости "контроля качества через инспекцию" [15], так и более поздними эмпирическими исследованиями, демонстрирующими снижение совокупных затрат на качество при переходе к превентивным и проактивным моделям управления [16, 17]. В частности, в исследованиях, посвященных цифровым системам менеджмента качества и киберфизическим производственным системам, показано, что интеграция контроля непосредственно в технологический процесс позволяет не только снижать уровень брака, но и повышать воспроизводимость параметров, устойчивость процессов и управляемость рисков на ранних стадиях [18].

Развитие цифровых технологий, включая промышленный интернет вещей, средства сбора и обработки данных в реальном времени, предиктивную аналитику и цифровые двойники, создало предпосылки для перехода от контроля результата к непрерывному управлению качеством на уровне производственного процесса. Реализация такого подхода требует формирования единого цифрового контура управления качеством продукции, обеспечивающего сквозную интеграцию данных, моделей и управленческих решений на всех стадиях жизненного цикла изделия. Для текстильной промышленности данный переход особенно актуален в условиях внедрения концепций "умной фабрики", автоматизированного контроля качества полотна, мониторинга параметров пряжи и цифровизации процессов отделки.

В научной литературе отсутствует устоявшаяся концептуальная модель единого цифрового контура управления качеством продукции. Имеющиеся исследования, как правило, фокусируются на отдельных цифровых технологиях и инструментах – цифровых двойниках, системах мониторинга оборудования, методах машинного обучения и предиктивной аналитики, сенсорных сетях и элементах промышленного интернета вещей [19…21]. Указанные решения рассматриваются преимущественно изоли-

рованно, без их системного включения в архитектуру управления качеством продукции.

Современные работы в области менеджмента качества в основном продолжают опираться на положения стандартов серии ISO 9000, предполагающих наличие регламентов, процедур, записей и аудитов. Интеграция цифровых инструментов в данные рамки, как правило, ограничивается автоматизацией документооборота, статистическим анализом несоответствий или мониторингом состояния оборудования [22, 23]. Подобный подход позволяет повысить прозрачность и оперативность информационных потоков, однако не приводит к качественному изменению алгоритмов управления качеством на производстве.

В то же время в смежных областях – управлении производственными системами, теории жизненного цикла продукции и цифровых платформах управления – формируются предпосылки для перехода к сквозным цифровым контурам, охватывающим требования к изделию, процессы его создания и фактические результаты производства [24, 25]. В этих условиях особую значимость приобретает задача методологического обоснования построения единого цифрового контура управления качеством продукции промышленного предприятия на основе интеграции отечественных информационных систем, обеспечивающих взаимосвязь конструкторско-технологических решений, производственных процессов и экономических результатов.

Таким образом, научное поле, связанное с разработкой единого цифрового контура управления качеством продукции, следует охарактеризовать как методологически недостаточно оформленное. Его развитие требует перехода от фрагментарного использования отдельных цифровых инструментов к созданию целостной системы на основе интеграции PLM-, MES-, QMS- и ERP-систем, обеспечивающей управление качеством продукции на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Целью статьи является концептуальное представление единого цифрового контура управления качеством продукции промышленного предприятия (с учетом возможности его применения на предприятиях текстильной промышленности) на основе интеграции отечественных цифровых инструментов и информационных систем, обеспечивающего повышение результативности управления качеством на стадиях проектирования и производства продукции.

Материалы и методы

В основу исследования положен системный подход, ориентированный на формирование проактивной системы управления качеством за счет цифровой интеграции данных на протяжении всего жизненного цикла продукции. Методологическим фундаментом работы является классический цикл непрерывного улучшения Plan-Do-Check-Act (далее PDCA), усовершенствованный с учетом условий цифрового производства. Для достижения поставленной цели применен комплекс методов, включая анализ научной литературы, систематизацию информационных технологий, концептуальное моделирование и экспериментальную апробацию.

На первом этапе проведена систематизация ключевых функциональных компонентов, необходимых для построения сквозного цифрового контура. Критерием отбора являлось функциональное назначение технологии, а не ее формальная принадлежность к определенной стадии жизненного цикла изделия. Особое внимание уделялось отечественному программному обеспечению, которое активно применяется в образовательном процессе и на промышленных предприятиях аэрокосмического кластера Самарской области, а также потенциально применимо для цифровизации технологических процессов текстильных производств, характеризующихся непрерывным или полунепрерывным характером операций. В качестве инструментов моделирования использованы методы структурного анализа, позволившие разработать алгоритм работы контура на основе принципов сквозной цифровой нити (Digital Thread) и единого источника достоверных данных.

Экспериментальная проверка концепции осуществлена методом апробации на примере реального технологического процесса – аддитивного изготовления винта беспилотного летательного аппарата методом FDM-печати. Апробация проводилась как на производстве, так и в условиях лабораторно-учебного центра с использованием отечественного ПО и аппаратных средств сбора данных, что позволило доказать работоспособность предложенного подхода и оценить его эффекты на основе сравнения метрик до и после внедрения элементов цифрового контура. Выбор данного объекта апробации обусловлен наличием у авторов фактической возможности проведения полноформатной экспериментальной проверки разработанной концепции, включая доступ к технологическому оборудованию, цифровым моделям, параметрам процесса и результатам измерений на всех стадиях производства. Высокая чувствительность выбранного технологического процесса к отклонениям режимов дополнительно обеспечила наглядную и воспроизводимую фиксацию эффектов цифрового управления качеством. При этом проведенная апробация рассматривается авторами как экспериментальная проверка работоспособности предложенной концепции, а не как универсальный отраслевой кейс.

Результаты

Обоснования выбора приоритетных цифровых инструментов и систем, формирующих основу единого контура управления качеством

Для обоснования выбора приоритетных цифровых инструментов и систем, формирующих основу единого контура управления качеством, проведена их систематизация по функциональному назначению. Этот подход позволяет выделить ключевые технологические компоненты, необходимые для реализации сквозного цифрового процесса, независимо от их формальной принадлежности к той или иной стадии жизненного цикла.

Представленная систематизация основана на практическом опыте авторов, полученном в ходе научно-исследовательской деятельности, образовательного процесса и непосредственного сотрудничества с промышленными предприятиями. Перечисленные примеры отечественного программного обеспечения отражают реально используемый и апробированный на практике набор технологий. В образовательном и научном процессе (на базе Самарского университета, Самарского государственного экономического университета и научных центров ИА РАН) для подготовки специалистов и проведения прикладных исследований активно используются PLM-системы ("Лоцман: PLM"), CAD-комплексы (КОМПАС-3D), а также различные версии MES- и ERP-решений отечественных производителей. На предприятиях аэрокосмической отрасли Самарской области (АО "РКЦ "Прогресс"", ПАО "ОДК-Кузнецов" и др.) в процесс подготовки и управления производством уже частично внедрены и эксплуатируются системы, указанные в табл. 1 (систематизация ключевых функциональных компонентов единого цифрового контура управления качеством), в частности, "1С:ERP" для управления ресурсами, "Флагман" или специализированные MES-решения для оперативного диспетчерского управления, SCADA-пакеты для сбора данных с оборудования. Таким образом, выбор именно этих инструментов обусловлен не только их функциональным соответствием, но и подтвержденной практикой их интеграционной способности и адаптивности к сложным производственным процессам. Данный подход обеспечивает высокую практическую значимость предлагаемой концепции единого цифрового контура.

Приоритет отдан исключительно отечественным решениям, которые не только позволяют уже в полной мере автоматизировать отдельные функции, но и имеют открытые API-интерфейсы и поддерживают промышленные стандарты обмена данными (например, OPC UA), что является важным условием для построения единого цифрового контура управления качеством.

Таблица 1

Ключевой функциональный компонент контура	Возможные варианты реализации (на примере отечественного ПО)	Ключевая роль в управлении качеством
Управление данными об изделии и требованиями	1. PLM-система ("Лоцман:PLM" – https://ascon.ru/products /loodsman-plm/). *Примечание:* может быть интегрирована как модуль в ERP или развернута как самостоятельная система при высокой сложности изделий.	Единый цифровой источник данных об изделии. Формирование качества через установление, фиксацию требований, с применением цифровых моделей CAD, технологий CAM. Обеспечение прослеживаемости процессов от проекта до конечного продукта
Управление ресурсами и планирование	2. ERP-система ("Флагман", "1С:ERP Управление предприятием 2", "Галактика ERP")	Создание качественных условий производства. Обеспечение поставки материалов и комплектующих требуемого уровня, управление компетенциями персонала, контроль поставщиков. Формирование экономических рамок для процессов управления качеством
Управление исполнением и мониторинг процесса	3. MES-система ("Флагман", MES-модули в составе других ERP)	Обеспечение управления качеством непосредственно в процессе производства. Преобразование планов и инструкций в технические задания, сбор фактических данных с оборудования в реальном времени, реализация текущего контроля. Создание основы для перехода от выборочного инспекционного контроля к непрерывному цифровому мониторингу показателей качества
	4. Средства сбора данных, например, SCADA (https://www.etm.ru/ipro3 /library/1827) – системы ("MasterSCADA"), промышленные датчики, шлюзы OPC UA (https://ek-top.ru/articles /elektrotehnika/industrial-automation-standards-opc-ua-mqtt/)	
Анализ, корректирующие действия и отчетность по качеству	5. Функции QMS (как модуль в рамках ERP/MES, реже как специализированная система) (https://mrcheck.ru/blog /detail/programmnoe-obespechenie-dlya-avtomatizatsii-proizvodstva/; https://synaptik.ru/blog/kak-it-resheniya-uluchshayut-kachestvo-produkczii/kak-sistema-upravleniya-kachestvom-pomogaet-optimizirovat-proczessy).	Обеспечение цикла непрерывного улучшения PDCA. Обработка данных, ведение учета несоответствий и корректирующих действий, проведение статистического анализа процессов, формирование отчетности. Обработка обратной связи в контуре управления
	6. Аналитические инструменты (встроенные в хранилище данных или BI-платформы (BI-система Insight))	
Связующая цифровая платформа (интеграционное ядро)	7. Интеграционные механизмы (API "1С", ЕЦП РФ "ГосТех", сервисная шина на базе Kafka)	Обеспечение сквозного взаимодействия разнородных данных и систем (PLM, ERP, MES, IoT). Создание единой цифровой нити изделия для комплексной прослеживаемости и создания возможности комплексной аналитики данных. Формирование единого источника достоверной информации для поддержки процессов принятия управленческих решений
	8. Единое хранилище данных (на базе Postgres Pro, ClickHouse) (https://datafinder.ru/products/modul-1-postroenie-hranilishch-dannyh-na-baze-postgres-pro-osobennosti-arhitektura-i; https://kurshub.ru/journal/blog/clickhouse-chto-eto-za-baza-dannyh-kak-ona-rabotaet-i-zachem-nuzhna/)	

Концептуальная модель единого цифрового контура управления качеством продукции

На основании проведенной систематизации ключевых функциональных компонентов разработана концептуальная модель единого цифрового контура управления качеством продукции. Модель направлена на реализацию парадигмы проактивного управления, при котором качество формируется и контролируется на протяжении всего жизненного цикла изделия, а не констатируется по его завершении.

Модель базируется на четырех базовых (приоритетных, не исчерпывающих) принципах, обеспечивающих ее работоспособность и соответствие требованиям современных производств (рис. 1).

Сквозная цифровая нить	• Обеспечение непрерывного, связанного и доступного потока данных, объединяющего виртуальные цифровые модели изделия (из PLM) с реальными данными о его производстве (из MES, IoT) и эксплуатации
Цикл непрерывного управления (PDCA в реальном времени)	• Замкнутый контур «Планирование – Выполнение – Контроль – Воздействие», реализуемый на цифровой платформе. Данные мониторинга процессов в реальном времени автоматически анализируются, а результаты анализа используются для немедленной или прогнозной корректировки как исполнения (через MES), так и проектных решений (обратная связь в PLM)
Единый источник достоверности данных	• Устранение дублирования и противоречий в информации за счет централизованного хранения всех основных параметров и данных (модели изделий, нормативы качества, фактические параметры) в специализированных системах с предоставлением строго регламентированного доступа другим компонентам контура
Событийно-ориентированная система	• Реакция систем на события (например, выход параметра за контрольный предел, завершение операции) в автоматическом или автоматизированном режиме, что обеспечивает высокую скорость принятия решений

Рис. 1

Работа единого цифрового контура может быть описана замкнутым циклом управления PDCA, в котором все компоненты модели активно взаимодействуют через интеграционную платформу (рис. 2).

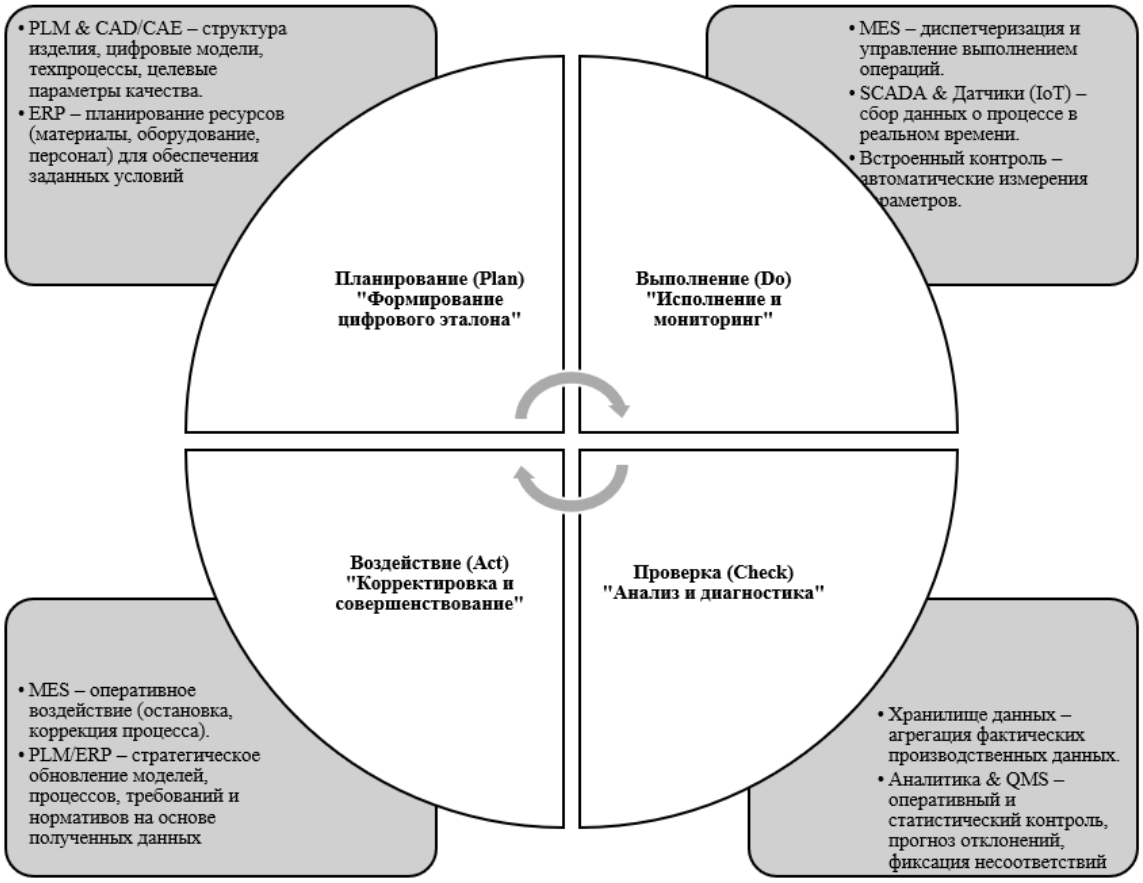


Рис. 2

На этапе планирования формируется и оформляется цифровой эталон качества конечного продукта и его промежуточных состояний. В PLM-системе, выступающей единым источником данных, на основе требований заказчика формируется структура изделия и утверждается перечень контрольных характеристик. На этом этапе CAD/CAE-системы используются для создания и виртуального анализа цифровых моделей деталей и сборочных единиц. Результаты инженерных расчетов (прочность, жесткость, термообработка) фиксируются в инженерных базах данных PLM и становятся частью технических требований, определяющих допустимые параметры.

На основе этих моделей и утвержденных техпроцессов формируются технологические инструкции, управляющие программы (далее УП) для станков с ЧПУ и задаются целевые значения ключевых параметров процесса (например, режимы резания, допустимая вибрация и др.).

ERP-система, получая данные о плане производства и спецификациях из PLM, обеспечивает формирование качественных условий реализации процессов, в частности, с помощью этого ПО планируются закупки материалов строго определенных марок и сертификатов, резервируются необходимое калиброванное оборудование и инструменты, учитывается квалификация персонала.

На этапе выполнения осуществляется реализация процесса под цифровым мониторингом. В систему MES поступают производственное задание, техкарты и УП из PLM, а информация о выделенных ресурсах – из ERP. MES осуществляет диспетчеризацию процессов, запускает партию, загружает УП в оборудование и назначает операции.

В ходе выполнения операции SCADA-системы и сеть промышленных датчиков (IoT) осуществляют непрерывный сбор данных с оборудования и процесса в реальном времени, таких как фактические координаты, усилия, мощность шпинделя, температура, параметры СОЖ и т. д.

Системы встроенного автоматического контроля (например, на основе машинного зрения или контактных щупов) проводят выборочные или сплошные замеры геометрических параметров непосредственно на станке.

На этапе проверки проводится анализ и диагностика в реальном времени и постфактум. Все фактические данные с уровня исполнения (от MES, SCADA, датчиков) агрегируются в едином хранилище данных. Аналитические инструменты и функции системы QMS позволяют обрабатывать этот массив информации, проводят оперативный контроль (автоматическое сопоставление текущих параметров процесса и результатов измерений с целевыми значениями и допусками из PLM-системы); реализуют статистическое управление процессами (строят контрольные карты, выявляя тенденции, способствующие отклонениям в процессах и параметрах качества продукции); запускают предиктивные модели для прогнозирования результатов, например, остаточного ресурса инструмента или вероятности выхода шероховатости за пределы поля допуска; фиксируют выявленные несоответствия, инициируя записи в системе управления корректирующими действиями.

На этапе воздействия осуществляются:

– корректировка процесса (оперативное воздействие). При обнаружении критического отклонения система формирует сигнал для системы MES: остановить операцию, забраковать деталь, скорректировать режим. Оператор получает инструкцию, видя ее на интерфейсе;

– совершенствование системы (стратегическое воздействие). Накопленные данные, результаты анализа первопричин дефектов и выводы предиктивной аналитики структурируются в виде отчетов и нормативных предложений.

Этот интеллектуальный "след" через интеграционную платформу поступает обратно в PLM-систему. Конструкторы и технологи получают объективные данные:

– для актуализации и оптимизации CAD-моделей и допусков;

– пересмотра и улучшения техпроцессов в инженерных базах данных;

– уточнения требований к материалам и оборудованию.

ERP-система позволяет актуализировать данные о поставщиках, нормативах расхода сырья, комплектующих и иных ресурсах на основе новой информации о реальном состоянии качества процессов и продукции.

Апробация предлагаемого единого цифрового контура управления качеством продукции

Практическая проверка разработанной концепции осуществлена в ходе лабораторных и практических работ и исследовательских проектов на базе Самарского университета и Самарского государственного экономического университета. В данной статье представлены результаты апробации на примере участка аддитивного производства методом FDM-печати, где изготавливался винт беспилотного летательного аппарата.

Для реализации контура управления качеством использована связка отечественных информационных систем и технологий сбора данных. Управление цифровыми моделями и техпроцессами осуществлялось в PLM-системе на основе "Лоцман:PLM", а 3D-модель винта была разработана в CAD-системе КОМПАС-3D (рис. 3).

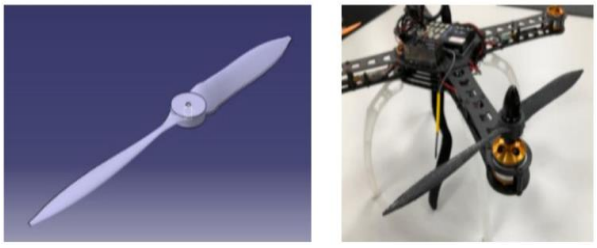


Рис. 3

Диспетчеризация и управление заданиями на печать выполнялись через MES-систему "Флагман", в которую поступали данные о задании и G-коде из PLM. Для оперативного сбора данных о ходе печати использовались SCADA-система "MasterSCADA" и комплект датчиков, подключенных через OPC UA-шлюз, которые контролировали температуру экструдера и стола, скорость печати и работу вентиляторов.

В ходе апробации контролировались ключевые параметры процесса, непосредственно влияющие на структурную целостность и геометрическую точность изделия: стабильность температурного режима, соответствие фактической траектории движения экструдера заданному G-коду, а также визуальные дефекты слоев в реальном времени с помощью системы технического зрения. Все данные агрегировались в единое хранилище на базе СУБД Postgres Pro и анализировались.

Встроенные в MES систему аналитические модули осуществляли текущий контроль, формировали контрольные карты Шухарта для отслеживания показателей стабильности процесса и выдавали предупреждения при приближении параметров к границам допусков. Фактическая геометрия готовых изделий проверялась на координатно-измерительной машине, и данные измерений также загружались в систему для сравнения с цифровым эталоном из PLM.

Внедрение элементов цифрового контура позволило перейти от выборочного контроля готовых винтов к управлению параметрами печати в реальном времени. Система автоматически останавливала процесс при критическом отклонении температуры, что предотвращало изготовление гарантированного брака.

Основные результаты апробации, продемонстрировавшие эффективность подхода, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Контролируемый параметр / метрика	Ситуация до внедрения элементов контура (выборочный контроль)	Результат после внедрения (управление в процессе)	Достигнутый эффект
Выявление критического брака (расслоение, деформация)	После завершения печати, при визуальном контроле или механических испытаниях	В режиме реального времени, по отклонению температурных параметров или данным технического зрения	Предотвращение изготовления некондиционной детали. Сокращение потерь материала и машинного времени
Стабильность процесса печати (температура экструдера)	Ручной выборочный замер, отсутствие системного анализа трендов	Непрерывный мониторинг с построением контрольных карт. Автоматическое предупреждение об отклонениях	Повышение воспроизводимости нужного параметра на 40%

Окончание табл. 2

Соответствие геометрии (диаметр ступицы, шаг винта)	Выборочное измерение на КИМ после изготовления партии	Автоматическое сравнение облака точек с CAD-моделью. Все данные в единой системе	Снижение доли деталей с отклонениями по геометрии с 15% до 4% в контролируемой партии
Время на анализ причин брака	Ручной сбор данных, сопоставление журналов печати и результатов измерений (до 2…3 часов на случай)	Автоматическое формирование отчета со всеми данными процесса по конкретному изделию за несколько минут	Сокращение времени на анализ первопричин в 5…7 раз (оценено авторами в ходе лабораторных занятий)
Актуализация управляющих программ (G-кода)	Эмпирический подбор, зависимость от опыта оператора	Корректировка на основе статистического анализа успешных и бракованных циклов, данные возвращаются в PLM	Формализация и оптимизация режимов печати, снижающая риск человеческой ошибки

Статистический анализ накопленных данных позволил скорректировать температурные профили и скорости печати для конкретного типа материала, оптимизировав режимы непосредственно в управляющих файлах, хранящихся в PLM-системе.

Применение предложенного единого цифрового контура управления качеством к процессам текстильной промышленности (прядение, ткачество, трикотажное производство, отделка) требует дополнительной эмпирической проверки, учитывающей специфику непрерывных процессов, свойства волокнистого сырья и иные показатели качества продукции.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования решена задача концептуального представления единого цифрового контура управления качеством продукции для промышленных предприятий. Основным научно-практическим результатом является разработанная и апробированная модель, которая обеспечивает переход от реактивной системы контроля по результату к проактивному управлению формированием качества на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Достижение цели исследования подтверждается решением трех ключевых задач. Во-первых, обоснован выбор и систематизированы приоритетные отечественные цифровые инструменты (PLM, ERP, MES, системы сбора данных и аналитики) по их роли, что формирует основу функционирования контура. Во-вторых, разработан и визуализирован алгоритм его работы, реализующий принцип сквозной цифровой нити и замкнутого цикла PDCA в цифровой среде. В-третьих, практическая апробация модели на примере FDM-печати винта беспилотного летающего аппарата доказала ее работоспособность и значимый эффект.

Ключевым выводом апробации является подтверждение гипотезы о том, что интеграция разрозненных систем в единый контур на основе отечественного ПО уже сейчас позволяет кардинально изменить подход к управлению качеством продукции промышленного предприятия. Переход от выборочного постфактум-контроля к непрерывному мониторингу показателей процессов и параметров продукции и их предиктивному анализу в реальном времени привел к существенным результатам, в частности, предотвращению изготовления бракованных деталей, повышению воспроизводимости процесса на 40% и сокращению времени на анализ причин несоответствий в 5…7 раз.

Таким образом, предложенная концепция обладает высокой практической значимостью. Полученные результаты подтверждают принципиальную применимость единого цифрового контура управления качеством для различных типов производств, включая текстильную промышленность, при условии адаптации набора контролируемых параметров и цифровых инструментов к отраслевой специфике. Перспективой дальнейших исследований авторов является тиражирование данного подхода на другие виды производственных процессов и углубленная разработка интеллектуаль-

ных алгоритмов предиктивной аналитики в рамках единого цифрового контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Розно М.И.* Встроенное качество vs контроль: альтернатива или дополнение? // Методы менеджмента качества. 2025. № 6. С. 18…23. – EDN MHJNOT.

2. *Дорохов С.Б.* Проблемы реализации нормативно-правовых требований к системам управления качеством в ОПК // Контроль качества продукции. 2020. № 11. С. 21…24. – EDN ULBMKZ.

3. *Shewhart W.A.* Economic Control of Quality of Manufactured Product. D. Van Nostrand Company, 1923. – https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.150272

4. *Клочков А.Е.* Автоматизация управления контрафактной продукцией в АИСМК // Контроль качества продукции. 2024. № 10. С. 43…47. – EDN DSPNGN.

5. *Juran J.M., Godfrey A.B.* Juran's Quality Handbook. New York: McGraw Hill, 1999. – https://archive.org/details/isbn_9780070340039

6. *Crosby P.B.* Quality is free: the art of making quality certain. New York, N.Y., U.S.A.: Penguin, 1979. – https://archive.org/details/qualityisfree00phil

7. *Ахмелкин М.А., Лысенко Л.В.* Креативная российская микроэлектроника. Калуга: Манускрипт, 2020. 68 с. – ISBN 978-5-94627-211-7. EDN GQWVFT.

8. *Ерлыгина Е.Г., Потапова Е.П.* Управление качеством в текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 4(412). – С. 66…72. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_4_66. – EDN OHXWZV.

9. *Тютиков В.В., Блинов О.В., Ставров С.Г. и др.* О возможностях моделирования и анализа автоматизированных технологических систем текстильного производства на основе программируемых логических контроллеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 171…176. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_171. – EDN KCMIND.

10. *Оборин М.С.* Применение процессного подхода к управлению текстильным производством // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 5(413). С. 39…44. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_5_39. – EDN GXJTQD.

11. *Белобрагин В.Я., Салимова Т.А.* Наука об управлении качеством: новые тенденции или возврат к истокам? Ч. 2 // Стандарты и качество. 2020. № 10. С. 84…87. – EDN PQSSSF.

12. *Абакумова Ж.В., Трошкова Е.В.* Экономический анализ и улучшение качества управления организацией масложировой отрасли на основе концепции бережливого производства // Экономические науки. 2024. № 232. С. 29…38. – DOI 10.14451/1.232.29. EDN PUNCMA.

13. *Шпер В.Л., Смелов В.Ю., Тен И.С., Хунузиди Е.И.* Бережливая организация научного труда // Стандарты и качество. 2024. № 1. С. 106…108. – EDN NUXUTP.

14. *Ali M.G., Jasim A.K., Pirmatova A. etc.* Data-Driven Decision-Making: Challenges and Opportunities for Textile Industry // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. No. 3(417). P. 229…238. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_229. EDN SECVNI.

15. *Deming W.E.* Out of the crisis: quality, productivity and competitive position. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986. – https://archive.org/details/outofcrisisquali00demi/mode/2up

16. *Psomas E., Antony J.* Total quality management elements and results in higher education institutions: The Greek case // Quality Assurance in Education. 2017. Vol. 25 No. 2. P. 206…223. – DOI 10.1108/QAE-08-2015-0033.

17. *Аникеева О.В., Ивахненко А.Г.* Анализ возможностей модального управления в системах менеджмента качества предприятий // Инженерный вестник Дона. 2021. № 12(84). С. 122…138. – EDN BZTEQX.

18. *Панченко К.Е.* Как внедрение автоматической системы контроля качества продукции на производстве вибропрессованной плитки помогло снизить брак на 80% // Управление качеством. 2023. № 8. С. 55…60. – DOI 10.33920/pro-01-2308-10. EDN RTQHSL.

19. *Сухоруков А.И., Богданова Е.Н.* Системы менеджмента качества авиапредприятий. М.: ИД Академии Жуковского, 2022. 64 с. – EDN XNJVEW.

20. *Савич Е.К., Васильева И.П., Лузик А.Д.* Цифровизация процесса управления качеством закупок и поставок сырья и комплектующих материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2025. Т. 27, № 1(123). С. 75…83. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-1-75-83. – EDN UGEIOJ.

21. *Савич Е.К.* Цифровой инструментарий управления качеством на этапах жизненного цикла продукции // Омский научный вестник. 2025. № 3(195). С. 19…26. – DOI 10.25206/1813-8225-2025-195-19-26. – EDN DIANIA.

22. Автоматизированное рабочее место отдела технического контроля: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024690018 Российская Федерация. – EDN UBQRQF.

23. *Невмятуллина Х.А., Графушин Р.В., Игонина И.Н., Лопаткин Д.С.* Экономика качества, стандартизации и сертификации. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. 132 с. – ISBN 978-5-7237-1990-3. – EDN JEKAVJ.

24. *Коновалова Г.И.* Концептуальные и методологические основы цифровой трансформации машиностроительного предприятия // Организатор производства. 2023. Т. 31, № 1. С. 159…170. – DOI 10.36622/VSTU.2023.56.17.012. EDN MBTDDF.

25. *Наугольнова И.А.* Матрица реагирования на опасные отклонения в параметрах качества на стадиях жизненного цикла продукции // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28, № 12. – С. 68…76. – DOI: 10.14489/td.2025.12.pp.068-075. – EDN YRSJWQ.

R E F E R E N C E S

1. *Rozno M.I.* Embedded quality vs. control: alternative or addition? // Metody menedzhmenta kachestva. 2025, No. 6. P. 18...23. EDN MHJNOT.

2. *Dorokhov S.B.* Problems of implementing regulatory requirements for quality management systems in the defense industry // Kontrol' kachestva produktsii. 2020. No. 11. P. 21...24. – EDN ULBMKZ.

3. *Shewhart W.A.* Economic Control of Quality of Manufactured Product. D. Van Nostrand Company, 1923. – https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.150272 (accessed: 16.09.2025).

4. *Klochkov A.E.* Automation of counterfeit product management in QMS IS // Kontrol' kachestva produktsii. 2024. No. 10. P. 43...47. – EDN DSPNGN.

5. *Juran J.M., Godfrey A.B.* Juran's Quality Handbook. New York: McGraw Hill, 1999. – https://archive.org/details/isbn_9780070340039 (accessed: 14.09.2025).

6. *Crosby P.B.* Quality is free: the art of making quality certain. New York, N.Y., U.S.A.: Penguin, 1979. – https://archive.org/details/qualityisfree00phil (accessed: 15.09.2025).

7. *Ahmelkin M.A., Lysenko L.V.* Creative Russian microelectronics. Kaluga: Manuskript, 2020. 68 p. – ISBN 978-5-94627-211-7. – EDN GQWVFT.

8. *Erlygina E.G., Potapova E.P.* Quality management in textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024, No. 4 (412). P. 66...72. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_4_66. – EDN OHXWZV.

9. *Tyutikov V.V., Blinov O.V., Stavrov S.G. etc.* On the possibilities of simulation and automated technological systems analysis of textile production based on programmable logic controllers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). P. 171...176. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_171. – EDN KCMIND.

10. *Oborin M.S.* The application of a process approach to the management of textile production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 5 (413). P. 39…44. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_5_39. – EDN GXJTQD.

11. *Belobragin V.Ya., Salimova T.A.* The science of quality management: new trends or a return to the origins? Part 2 // Standarty i kachestvo. 2020. No. 10. P. 84...87. – EDN PQSSSF.

12. *Abakumova Zh.V., Troshkova E.V.* Economic analysis and improvement of management quality in the fat and oil industry organization based on the lean production concept // Ekonomicheskie nauki. 2024. No. 232. P. 29...38. – DOI 10.14451/1.232.29. – EDN PUNCMA.

13. *Shper V.L., Smelov V.Yu., Ten I.S., Khunuzidi E.I.* Lean organization of scientific work // Standarty i kachestvo. 2024. No. 1. P. 106...108. – EDN NUXUTP.

14. *Ali M.G., Jasim A.K., Pirmatova A. etc.* Data-Driven Decision-Making: Challenges and Opportunities for Textile Industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. No. 3(417). P. 229...238. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_229. – EDN SECVNI.

15. *Deming W.E.* Out of the crisis: quality, productivity and competitive position. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986. – https://archive.org/details/outofcrisisquali00demi/mode/2up (accessed: 15.09.2025).

16. *Psomas E., Antony J.* Total quality management elements and results in higher education institutions: The Greek case // Quality Assurance in Education. 2017. Vol. 25 No. 2. P. 206...223. – DOI 10.1108/QAE-08-2015-0033.

17. *Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G.* Analysis of modal control possibilities in enterprise quality management systems // Inzhenernyi vestnik Dona. 2021. No. 12(84). P. 122...138. – EDN BZTEQX.

18. *Panchenko K.E.* How the implementation of an automatic product quality control system in vibropressed tile production helped reduce scrap by 80% // Upravlenie kachestvom. 2023. No. 8. P. 55...60. – DOI 10.33920/pro-01-2308-10. – EDN RTQHSL.

19. *Sukhorukov A.I., Bogdanova E.N.* Quality management systems of aviation enterprises. Moscow: Zhukovsky Academy Publishing House, 2022. 64 p. – EDN XNJVEW.

20. *Savich E.K., Vasilyeva I.P., Luzik A.D.* Digitalization of the quality management process for the procurement and supply of raw materials and components // Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2025. Vol. 27, No. 1(123). P. 75...83. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-1-75-83. – EDN UGEIOJ.

21. *Savich E.K.* Digital tools for quality management at the stages of the product life cycle // Omskii nauchnyi vestnik. 2025. No. 3(195). P. 19...26. – DOI 10.25206/1813-8225-2025-195-19-26. EDN DIANIA.

22. Automated workstation of the technical control department: certificate of state registration of the computer program No. 2024690018 Russian Federation. – EDN UBQRQF.

23. *Nevmyatullina Kh.A., Grafushin R.V., Igonina I.N., Lopatkin D.S.* Economics of quality, standardization and certification. Moscow: Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, 2022. 132 p. – ISBN 978-5-7237-1990-3. – EDN JEKAVJ.

24. *Konovalova G.I.* Conceptual and methodological foundations of the digital transformation of a machine-building enterprise // Organizator proizvodstva. 2023. Vol. 31, No. 1. P. 159...170. – DOI 10.36622 /VSTU.2023.56.17.012. – EDN MBTDDF.

25. *Naugolnova I.A.* Response matrix to hazardous deviations in quality parameters at the stages of the product life cycle // Kontrol'. Diagnostika. 2025. Vol. 28. No. 12. P. 68...76. – DOI: 10.14489 /td.2025.12.pp.068-075. EDN YRSJWQ.

Рекомендована кафедрой экономики, организации и стратегии развития предприятия Самарского государственного экономического университета. Поступила 17.12.25.

УДК 336
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_121

КРЕДИТОСПОСОБНОСТЬ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПАНИЙ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

CREDIT WORTHINESS OF TEXTILE COMPANIES: A METHODOLOGICAL ASPECT

Д.В. ПЯТНИЦКИЙ

D.V. PYATNITSKIY

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: vtddm@mail.ru

Предметом исследования в статье являются методологические аспекты оценки кредитоспособности организаций текстильной отрасли. Цель статьи – адаптировать методологию кредитных рейтинговых агентств (на примере методологии Национального рейтингового агентства (НРА)) с учетом специфики деятельности подотраслей текстильной промышленности. Исследование опирается в основном на экспертные и нейросетевые методы исследования (использованы экспертные оценки десяти систем искусственного интеллекта). В результате исследования выделено пять текстильных подотраслей (готовые изделия, трикотаж, ткани, нетканые материалы и технический текстиль) и раскрыты их ключевые особенности для оценки кредитоспособности компаний. Для каждой подотрасли с учетом их инновационности обоснованы весовые коэффициенты, определяющие роль блока факторов бизнес-риска и оценки качества управления (БРК), а также блока факторов финансовых рисков (ФР). Выявлено, что внутри блока БРК с повышением инновационности подотрасли (от готовых изделий к техническому текстилю) возрастает роль стратегии и снижается значение остальных пяти факторов этого блока (рыночной позиции, прозрачности структуры собственности, системы управления рисками и др.). Установлено, что внутри блока финансовых рисков нестабильность спроса, подверженность моде, фактор сезонности и низкая маржинальность создают опасность кассовых разрывов и повышают вес факторов, связанных с ликвидностью (особенно для готовых изделий и трикотажа), а повышение капиталоемкости подотраслей приводит к возрастанию роли факторов, связанных с долговой нагрузкой (технический текстиль, нетканые материалы, ткани).

С учетом подотраслевых особенностей и полученных весов скорректированы нормативные диапазоны значений для десяти факторов-показателей блока "Финансовые риски". Факторы, которые повышают роль ликвидности, одновременно поднимают верхнюю границу нормативного диапазона по краткосрочной ликвидности, а факторы, повышающие значение долговой нагрузки, ужесточают нормативные диапазоны релевантных показателей.

The subject of this study is the methodological aspects of creditworthiness assessment for organizations in the textile industry. The article aims to adapt the methodology of credit rating agencies (using the National Rating Agency (NRA) as an

example) to the specifics of textile industry sub-sectors. The study relies primarily on expert and neural network research methods (expert assessments from ten artificial intelligence systems were used). The study identified five textile sub-sectors (finished goods, knitwear, fabrics, non-woven materials, and technical textiles) and described their key features for assessing the creditworthiness of companies. For each sub-sector, taking into account their innovativeness, weighting coefficients were substantiated, determining the role of the business risk factor block and governance quality assessment (BRK), as well as the financial risk factor block (FRF). It was found that within the BRK block, as the sub-sector's innovativeness increases (from finished goods to technical textiles), the role of strategy increases, while the significance of the other five factors in this block (market position, ownership structure transparency, risk management system, etc.) decreases. Within the financial risks block, demand instability, susceptibility to fashion, seasonality, and low marginal profitability were found to create a risk of cash flow gaps and increase the weight of liquidity-related factors (especially for finished goods and knitwear), while an increase in the capital intensity of sub-sectors leads to an increased role for debt-related factors (technical textiles, non-woven materials, fabrics). Taking into account sub-sector characteristics and the resulting weights, the standard ranges for the ten factor-indicators in the "Financial Risks" block were adjusted. Factors that increase the role of liquidity simultaneously raise the upper limit of the standard range for short-term liquidity. Meanwhile, factors that increase the importance of the debt burden tighten the regulatory ranges of relevant indicators.

Ключевые слова: текстильная промышленность, кредитоспособность, бизнес-риски, корпоративное управление, финансовые риски, весовые коэффициенты, ликвидность, долговая нагрузка, рентабельность, нормированные диапазоны.

Keywords: textile industry, creditworthiness, business risks, corporate governance, financial risks, weighting factors, liquidity, debt burden, profitability, standardized ranges.

В условиях глобальной нестабильности и санкционного давления промышленность России испытывает финансовые трудности, текстильные предприятия функционируют в условиях хронической нехватки финансирования, что повышает значимость оценки кредитоспособности компаний, систем мониторинга и управления устойчивым развитием [13] в текстильной промышленности.

Исторически подходы к риск-классификации нефинансовых компаний, к оценкам значимости факторов их кредитоспособности эволюционировали от одномерного статистического анализа (1930–1967 гг.) к многомерным моделям, включая дискриминантный анализ, эконометрические методы и нейронные сети [15]. Наиболее продвинутые модели на современном этапе создаются кредитными организациями, центральными банками и рейтинговыми агентствами [15]. Экспертные веса факторов кредитоспособности рейтинговых агентств не всегда соответствуют эконометрическим моделям [1], поскольку экспертные оценки учитывают не только фактическое положение дел, но и нормативные требования.

В качестве рабочей гипотезы исследования выступает тезис о неприменимости унифицированных рейтинговых подходов к текстильной промышленности без учета специфики ее подотраслей. В литературе обращалось внимание на необходимость адаптации инструментов управления рисками к отраслевым особенностям хозяйствующих субъектов обрабатывающих производств [18]. Методология оценки кредитоспособности нефинансовых компаний, разработанная ведущими кредитными агент-

ствами России, ряд публикаций по рискам в текстильной промышленности [2, 5, 9, 11] недостаточно учитывают ее неоднородность и особенности ее подотраслей: ткани (х/б, шерсть), трикотаж, нетканые материалы, технический текстиль, готовые изделия. Эти подотрасли в [6] определяются как кластеры по ОКВЭД, хотя полного соответствия между ними нет. Из четырех ведущих рейтинговых агентств России (НКР, НРА, Эксперт РА, АКРА) самый большой акцент на отраслевых особенностях при определении рейтинга кредитоспособности делает Национальное рейтинговое агентство (НРА). Статья ставит целью адаптировать методологию этого агентства к специфике деятельности текстильных подотраслей. Поэтому в настоящем исследовании за основу взята методология НРА, которая с использованием экспертных оценок 10 систем искусственного интеллекта адаптируется к специфике пяти подотраслей текстильной промышленности.

В предлагаемом исследовании использовались подходы: системный (текстильная отрасль рассматривалась как целостная социально-экономическая система), комплексный (проведен комплексный анализ риска подотраслей текстильной промышленности, исследование затронуло не только финансовые, но и бизнес-риски и оценку качества управления), нормативный (обоснованы диапазоны допустимых изменений для ключевых факторов, отражающих финансовые риски).

1. Профиль рисков подотраслей текстильной промышленности

В ряде работ [7, 17] представлены оригинальные подходы к выявлению профиля рисков предприятий текстильной промышленности. Однако выделенные там риски относятся большей частью к финансовой устойчивости и экономическому развитию. НРА в целях упорядочения анализа подразделяет факторы рейтинговой модели кредитоспособности на два блока: "Бизнес-риски и качество управления", "Финансовые риски", соответственно БРК и ФР, 35% и 65% для легкой промышленности (НРА не дает особых оценок для текстильной промышленности, другие же агентства вообще включают ее в состав прочих отраслей, исключая тем самым возможность использования предлагаемых ими количественных оценок для анализа кредитоспособности компаний текстильной промышленности). Веса блоков БРК и ФР рассчитаны НРА как сумма весов отдельных входящих в них факторов. Долговременной общей глобальной тенденцией является постепенное снижение роли финансовых рисков и возрастание значения качества корпоративного управления в оценке кредитного рейтинга. С позиций влияния на кредитоспособность в краткосрочном и среднесрочном плане риски блока БРК в значительной степени выступают как внутренние (управляемые), а риски блока ФР в большей степени – внешние.

Структура рисков текстильных подотраслей определяется их спецификой. Если проранжировать 5 текстильных подотраслей по их инновационности, то технический текстиль будет на первом месте, нетканое производство – на втором, а готовая продукция – на последнем (после тканей и трикотажа). Веса блока БРК, безусловно, отражают этот факт (табл. 1). Более низкая инновационность подотрасли создает дополнительные бизнес-риски и риски корпоративного управления, повышая вес этого блока (с ростом инновационности подотрасли возрастает риск имитации инноваций, но в текстиле России этот риск представляет значительно меньшую опасность, чем другие бизнес-риски).

В подотраслях с более высокой конкуренцией, сложной логистикой, сезонностью и волатильностью спроса (зависимостью от изменений моды), значимостью нематериальных активов (бренда) бизнес-риски выше. И напротив, высокие барьеры для входа в отрасль, устойчивый, диверсифицированный спрос снижают БРК. Вариация весов блоков отражает разную природу ключевых рисков подотраслей текстильной промышленности. В более капиталоемких подотраслях, с высокими затратами на НИОКР и длительным циклом производства, зависимостью от импорта сырья повышаются финансовые риски (сильнее зависимость от кредитования, роста процентных ставок,

колебаний курса валюты и др.), которые лучше оценивать в первую очередь количественными метриками.

Веса блоков БРК и ФР для текстильных подотраслей определены по средней геометрической весов, предложенных десятью искусственными интеллектами (табл. 1 – экспертные оценки веса блока БРК, %). Наивысший вес блока БРК получила подотрасль "Готовые изделия", минимальный – "Технический текстиль". Вес блока БРК для технического текстиля был бы еще ниже, если бы возможная имитация инноваций не создавала более высокие бизнес-риски из-за скорой потери конкурентного преимущества [3]. Весовые коэффициенты БРК подотраслей, полученные экспертным путем, находятся в обратной зависимости с интегральным показателем экономической безопасности (по версии [6]), что служит их эмпирическим подтверждением. Хотя финансовые риски часто являются следствием результативности бизнес-модели, их роль в ряде публикаций заметно приуменьшается [4]. По нашим оценкам, для всех 5 подотраслей финансовые риски доминируют, занимая более 50% (=100% – Вес блока БРК).

Таблица 1

Подотрасли	Deep Seek	Perplexity	Алиса AI	Chat GPT	Giga Chat	Qwen3-Max	Ernie 4.5 Turbo	Mistral AI	Cohere	Llama 3.1	Средняя
Готовые изделия	50,0	33,0	33,0	56,0	40,0	42,0	45,0	55,0	50,0	45,0	44,2
Трикотаж	45,0	35,0	34,0	44,0	35,0	35,0	35,0	50,0	45,0	35,0	38,9
Ткани	30,0	38,0	38,0	44,0	37,5	38,0	40,0	40,0	40,0	40,0	38,4
Нетканые материалы	35,0	40,0	36,0	47,0	30,0	30,0	30,0	35,0	30,0	30,0	33,9
Технический текстиль	25,0	42,0	37,0	63,0	25,0	28,0	25,0	30,0	35,0	25,0	32,0

Готовые изделия (швейное производство, одежда, постельное белье) – самая конкурентная подотрасль (велик риск нелегального импорта и контрафакта) с низкой маржинальностью и высокой оборачиваемостью. Более высокий вес БРК, почти сравнявшийся с долей финансовых рисков, связан с сильной зависимостью от бренда и дистрибуции (ритейлеров) в плане задержек оплаты от сетей, высоким риском внезапной отмены заказов (российские швейные фабрики часто банкротятся по этой причине). Низкая капиталоемкость (швейные машины относительно недороги) понижает вес долговой нагрузки, а необходимость в контроле и поддержании значительного денежного резерва повышает вес фактора ликвидности. Из всех текстильных подотраслей соотношение БРК и ФР для подотрасли "Готовые изделия" ближе всего к паритету при определенном перевесе финансовых рисков.

Трикотаж и ткани занимают промежуточное положение в структуре рисков между производством готовой продукции, с одной стороны, и техническим текстилем и производством нетканых материалов, с другой. Уровень конкуренции в производстве тканей и трикотажа ниже, чем в производстве готовых изделий, но выше, чем в производстве нетканых материалов и технического текстиля.

По сравнению с производством тканей, более гибкое и менее капиталоемкое производство трикотажа дает возможность быстрой переналадки (1-2 дня против недели в производстве тканей) и требует меньших запасов сырья. Риск кассовых разрывов выше из-за сезонности спроса (пики осенью и весной) и зависимости от моды. Поэтому трикотажной компании нужен более существенный запас ликвидности для маневрирования между коллекциями и сглаживания пиков спроса. Для трикотажа важна прозрачность цепочек поставок, он подвержен рыночному и сырьевому риску (волатильность цен на хлопок (по данным биржи ICE Futures U.S.) примерно на 30% выше, чем у других сырьевых товаров).

Производство тканей (х/б, шерсть) более капиталоемкое, чем трикотаж, с относительно длинным циклом, требует значи-

тельных вложений в оборудование (например, в ткацкие станки) и в запасы сырья. Это обусловливает низкое значение свободного денежного потока FCF, определяемого в кредитном анализе как операционный денежный поток за вычетом капитальных расходов и дивидендов акционерам. Большие затраты на сырье (хлопок, шерсть) вынуждает фирмы активно использовать кредитные линии. Ткани чувствительны к рыночным и сырьевым рискам.

Основные факторы, понижающие БРК подотрасли нетканых материалов (гигиена, медицина, упаковка и проч.): относительная технологическая простота продукции (хотя производство требует инновационного оборудования), стабильный, мало зависимый от моды и сезонных колебаний, диверсифицированный, устойчивый спрос, предсказуемые объемы закупок. Используемые инновационные технологии требуют значительных капитальных вложений, повышая финансовые риски. Основные средства (применяется дорогое оборудование) финансируются за счет долгосрочных займов/лизинга. Это повышает вес факторов долговой нагрузки и обслуживания долга. Цикл производства короткий. Для подотрасли характерны крупные долгосрочные контракты с предсказуемым платежным графиком. Это снижает волатильность денежных потоков.

Технический текстиль – наиболее наукоемкая и контрактно-ориентированная подотрасль с длинным циклом разработки и внедрения продукции (геотекстиль, материалы для авиации, армированные ткани и пр.), имеет самую низкую долю БРК в структуре рисков. Ключевая причина – комфортно низкий уровень конкуренции, защищенный высокими барьерами входа на этот рынок, стабильным спросом, обеспеченным госзаказами и заказами узко специализированных промышленных предприятий. Более высокая доля финансовых рисков связана с потребностью в долгосрочном финансировании масштабных инвестиций в оборудование, технологии (для технического текстиля критичны долгосрочные инвестиции), долгим сроком окупаемости проектов, зависимостью от экспорта. Требуется максимальный запас финансовой прочности для финансирования НИОКР и покрытия форс-мажоров по контрактам.

2. Вариация внутриблоковых весовых коэффициентов

2.1. Блок "Бизнес-риски и качество управления"

Внутри факторов блока "Бизнес-риски и качество управления" весовые коэффициенты варьируют по ряду причин (табл. 2). Рыночная позиция особенно важна в производстве готовых изделий и трикотажа (объем продаж зависит от бренда и конкуренции с продуктами "быстрой моды), менее всего значима для технического текстиля, зависящего от нишевых рынков. Ткани (большая зависимость от волатильности цен на сырье (хлопок и др.)) и нетканые материалы занимают промежуточное положение, более близкое к техническому текстилю, чем к готовым изделиям.

Таблица 2

Факторы кредитоспособности	Легкая промышленность (НРА)	Готовые изделия (пост. белье, одежда)	Трикотаж	Ткани (х/б, шерсть)	Нетканые материалы	Технический текстиль
БЛОК 1. Бизнес-риски и качество управления	35,4	44,2	40,9	38,4	34,9	32,0
Рыночная позиция	2,6	6,4	4,2	3,9	3,4	2,3
Оценка структуры собственности	7,4	8,2	8,0	7,0	5,8	5,0
Стратегия развития	7,2	6,5	6,8	7,2	8,0	8,1
Оценка корпоративного управления	5,9	6,5	6,0	5,4	5,0	4,1
Оценка системы управления рисками	5,3	7,5	7,0	6,9	6,3	6,2
Финансовая политика	7,0	9,1	8,9	8,0	6,4	6,3

Окончание табл. 2

БЛОК 2. Финансовые риски	64,6	55,8	59,1	61,6	65,1	68,0
Блок 2.1. Ликвидность, в т.ч.	20,0	21,9	21,0	19,1	17,7	16,4
Краткосрочная ликвидность	7,8	8,9	8,5	7,7	6,9	6,8
Обеспеченность собственными оборотными средствами	6,5	6,3	6,0	5,3	5,0	4,8
Оборачиваемость дебиторской задолженности	5,8	6,7	6,5	6,1	5,8	4,8
Блок 2.2. Долговая нагрузка, в т.ч.	18,1	12,4	15,3	17,7	20,6	22,8
FFO / Долг	5,2	3,7	4,7	5,4	6,2	7,2
Уровень перманентного капитала	7,1	3,9	5,6	7,1	9,0	9,8
Финансовый леверидж	5,8	4,8	5,0	5,2	5,4	5,8
Блок 2.3. Обслуживание долга, в т.ч.	11,0	7,6	7,8	10,2	13,2	15,2
Покрытие процентных расходов (EBIT / Проценты)	6,5	4,5	4,6	5,5	6,6	7,7
Обеспеченность обслуживания долга (DSCR)	4,5	3,1	3,2	4,7	6,6	7,5
Блок 2.4. Рентабельность, в т.ч.	15,5	13,9	15,0	14,6	13,6	13,6
Рентабельность по чистой прибыли	9,7	9,6	9,5	9,4	8,7	7,8
Рентабельность собственного капитала	5,8	4,3	5,5	5,2	4,9	5,8
Всего	100	100	100	100	100	100

Прозрачность структуры собственности (риск хищений и пр.) и оценка корпоративного управления критичны для готовых изделий (риск нелегальных производств и контрафакта) и трикотажа (риск нелегального импорта, сложные цепочки поставок) и менее важны для технического текстиля (связан с госструктурами и обеспечен господдержкой), нетканых материалов и стандартизированного производства тканей.

Стратегия развития критически важна для технического текстиля (из-за долгосрочных инвестиций (R&D) в инновации и логистику) и для производства нетканых материалов (зависимость от инфраструктурных проектов и госзаказов). Меньший, но все же значительный вес этот фактор имеет для менее инновационного низкорентабельного производства тканей [8], которому необходимо выживать в высококонкурентной среде, принимая стратегические решения (выход на новые рынки, оптимизация цепочек создания стоимости, диджитализация).

Оценка корпоративного управления и системы управления рисками наибольшие веса имеют для производства готовых изделий (риск изменений спроса и ассортимента), трикотажа и тканей (риск роста цен на хлопок).

Значимость "Финансовой политики" относительно выше для производства готовых изделий (сезонные колебания спроса и большая потребность в оборотных средствах на маркетинг и дистрибуцию), трикотажа (подвержен сезонности и влиянию моды), а также тканей (особенно это касается политики финансирования оборотных средств).

В итоге, за исключением фактора "Стратегия развития", весовые коэффициенты, отражающие соответствующие риски по всем остальным факторам блока БРК, возрастают по мере снижения их инновационности и капиталоемкости. Роль "Стратегии развития" повышается в связи с необходимостью принятия долгосрочных решений по более инвестиционно емким подотраслям (технический текстиль, нетканое производство).

Внутри блока "Бизнес-риски и качество управления" для технического текстиля и нетканых материалов лидируют по значимости факторы: Стратегия развития, Финансовая политика и Оценка системы управления рисками; для тканей: Финансовая политика, Стратегия развития и Оценка структуры собственности; для готовых изделий и трикотажа: Финансовая политика, Оценка структуры собственности и Оценка системы управления рисками. Необходимость включения с высокими весами в блок БРК (особенно для подотраслей с разветвленной дистрибуцией (готовые изделия, трикотаж)) факторов финансовой политики, управления рисками и прозрачности структуры собственности связана, в частности [9],

с такими логистическими рисками текстильных предприятий, как хищения продукции, некачественные поставки, срыв сроков и рост затрат.

Как видим, фактор "Финансовая политика" в целом по текстилю является ведущим фактором блока БРК, занимая либо первое, либо второе место по своему влиянию на кредитоспособность подотраслей. Следом за Финансовой политикой идут факторы: Стратегия развития и Оценка структуры собственности.

2.2. Блок "Финансовые риски"

Несмотря на устойчивый тренд снижения доли финансовых рисков в пользу рисков корпоративного управления, в настоящее время эти риски все еще доминируют во всех подотраслях текстильной промышленности (табл. 2 – веса факторов кредитоспособности подотраслей текстильной отрасли, %). Особенности текстильной отрасли делают ликвидность (из-за сезонности и высокой доли оборотных активов), долговую нагрузку (из-за низкой маржинальности) и оборачиваемость (из-за работы с отсрочками платежа) ключевыми для оценки кредитного рейтинга. Показатели использования основных средств важны для оценки перспектив развития текстильных компаний, однако для оценки их кредитоспособности они менее значимы и поэтому в рамках данного анализа не принимаются во внимание. Нельзя согласиться с мнением Федотовой М.А. и др. [16], что показатели финансовой устойчивости (в [16] они разбиты на 6 групп, в данной статье – на 4 (табл. 2)), в отличие от значений фундаментальной стоимости, лишь аккумулируют результаты прошлой деятельности компаний. Кредитно-рейтинговые агентства используют и прогнозные оценки финансовых коэффициентов для оценки кредитоспособности.

Достаточность ликвидности для погашения краткосрочных долгов оценивается с помощью показателя краткосрочной ликвидности: (Денежные средства + Невыбранные кредитные линии + FCF) / Краткосрочные долговые обязательства. Веса фактора краткосрочной ликвидности, оставаясь высокими для всех подотраслей, снижаются по мере падения роли фактора сезонности и вероятности кассовых разрывов. Самый высокий вес имеет подотрасль готовых изделий, затем по убыванию следуют: трикотаж, ткани (меньшая зависимость от колебаний спроса, чем у трикотажа), нетканые материалы; самый низкий вес у технического текстиля (из-за стабильных госзаказов).

Риск изменений потребительского спроса делает критически важным наличие "подушки безопасности" в виде собственных оборотных средств. Способность компании финансировать оборотные активы без привлечения кредитов отражает показатель обеспеченности собственными оборотными средствами: (Собственный капитал - Внеоборотные активы) / Оборотные активы). Он особенно важен для производства готовых изделий, трикотажа и тканей с долей запасов и дебиторской задолженности в активах не ниже 40…50% и менее значим для нетканых материалов и технического текстиля – подотраслей с большей предсказуемостью спроса.

Текстильные компании часто работают с отсрочками платежа, и для них значимым является коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности: 365*Среднее значение дебиторской задолженности за анализируемый период / Выручка. Весовые коэффициенты возрастают по мере снижения маржинальности, повышения доли модели B2B в бизнесе компаний текстильной подотрасли. Самый низкий вес имеет технический текстиль (из-за стабильных госзаказов), затем по возрастанию следуют: нетканые материалы, ткани, трикотаж; самый высокий вес у готовых изделий.

Текстильные компании берут краткосрочные кредиты под оборотные средства и долгосрочные – для финансирования инвестиций в основные средства. Поскольку оборотный капитал в текстиле достаточно волатилен, а показатели EBIT и EBITDA не отражают расходов, связанных с уплатой процентов, то для оценки способности компании погашать и обслуживать долги используется соотношение чистого операционного денежного потока FFO без учета изменения оборотного капитала и долга (FFO / Долг), коэффициент обеспеченности об-

служивания долга DSCR (= (FFO + Уплаченные проценты - Полученные проценты + Дивиденды уплаченные) / (Проценты уплаченные + Дивиденды уплаченные + Погашение кредитов и займов)), а также показатель покрытия процентных расходов (EBIT/Проценты). Значимость этих показателей для оценки кредитного рейтинга отражает в первую очередь рост капиталоемкости производства. Весовые коэффициенты перечисленных показателей повышаются от готовых изделий и трикотажа до технического текстиля, требующего гораздо бóльших инвестиций в оборудование, чем другие текстильные подотрасли. Аналогичное соотношение весовых коэффициентов по тем же основаниям выдержано и по уровню перманентного капитала ((Собственный капитал + Долгосрочные заемные средства) / Активы), а также по финансовому левериджу (Долг / Собственный капитал).

Низкая маржинальность опасна для текстильных предприятий с волатильным денежным потоком в условиях высокой конкуренции со стороны импортных товаров. Значимость рентабельности по чистой прибыли (Чистая прибыль / Выручка) выше для готовых изделий и трикотажа (табл. 2) и снижается вместе с повышением уровня рентабельности продукции и стабильности FFO.

Рентабельность собственного капитала ROE (Чистая прибыль / Капитал) отражает эффективность использования капитала и традиционно выступает как индикатор конкурентоспособности и кредитоспособности в условиях ценового давления [4, 14]. Веса ROE возрастают при переходе от готовых изделий и трикотажа к тканям, нетканым материалам и техническому текстилю (табл. 2), поскольку снижается влияние волатильности цен ("шума") на ROE, но растет значение эффективного управления капиталом. Соответственно, для производства готовых изделий ROE – более шумный (волатильный) индикатор (следовательно, менее значимый), а для технического текстиля – более объективный стратегический сигнал, чем для нижней части цепочки подотраслей.

Внутри блока ФР для готовых изделий, трикотажа и тканей в первую тройку наиболее значимых финансовых коэффициентов вошла рентабельность по чистой прибыли (из-за конкуренции с азиатским импортом), краткосрочная ликвидность и оборачиваемость дебиторской задолженности. Наименее значимы для готовых изделий и трикотажа показатели обеспеченности обслуживания долга и покрытия процентных расходов вследствие относительно меньшей зависимости предприятий от заемных средств.

По сравнению с техническим текстилем и неткаными материалами производство тканей (хлопка, шерсти) характеризуется более высокими весами показателей краткосрочной ликвидности, обеспеченности оборотными средствами (из-за значительных запасов сырья) и оборачиваемости дебиторской задолженности и относительно более низкими весами показателей долговой нагрузки и обслуживания долга (коэффициентов перманентного капитала, финансового левериджа и др.).

Для технического текстиля и нетканых материалов в число двух наиболее значимых финансовых факторов вошли показатели: уровень перманентного капитала и рентабельность по чистой прибыли. На третьем месте для технического текстиля оказался коэффициент покрытия процентных расходов, а для нетканых материалов – коэффициент краткосрочной ликвидности. Вообще говоря, для производства нетканых материалов характерны весовые коэффициенты, более близкие к техническому текстилю, чем к среднеотраслевым значениям (крайности – это технический текстиль, с одной стороны, и готовые изделия и трикотаж, с другой).

Таким образом, более высокие веса по долгосрочной устойчивости (перманентный капитал, FFO/Долг) имеют капиталоемкие подотрасли (технический текстиль, ткани). От рентабельности продукции и оборачиваемости сильнее зависят (из-за конкуренции) трикотаж и готовые изделия. Краткосрочная ликвидность наиболее важна для готовых изделий, где высоки риски кассовых разрывов.

Если же рассматривать не отдельные показатели, а роль четырех подблоков блока ФР (ликвидность, долговая нагрузка,

обслуживание долга, рентабельность) в целом, объединив тесно связанные друг с другом второй и третий подблоки в один – долговую нагрузку и обслуживание долга, то лишь для готовых изделий на первом месте будет ликвидность, а для всех остальных – долговая нагрузка и обслуживание долга. Причем только для технического текстиля и нетканых материалов вес отдельно взятой долговой нагрузки превышает вес подблока ликвидности. Подблок показателей рентабельности для всех подотраслей оказался на последнем месте по значимости (если не объединять второй и третий подблоки в один, тогда рентабельность как подблок окажется на втором месте для готовых изделий, на третьем – для трикотажа, тканей и нетканых материалов и для технического текстиля – лишь на четвертом).

3. Нормированные диапазоны для текстильной отрасли

Для каждого субфактора блока "Финансовые риски" в разрезе подотраслей текстильной промышленности определяется диапазон (табл. 3 – нормативные диапазоны финансовых показателей), в рамках которого расчет баллов производится по кусочно-линейной функции.

Таблица 3

Показатель	Легкая промышленность (НРА)	Готовые изделия	Трикотаж	Ткани (х/б, шерсть)	Нетканые материалы	Технический текстиль
Краткосрочная ликвидность	[0,00; 0,34]	[0,00; 0,50]	[0,00; 0,45]	[0,00; 0,40]	[0,00; 0,40]	[0,00; 0,35]
Соотношение FFO/Долг	[0,00; 0,91]	[0,05; 0,30]	[0,05; 0,35]	[0,10; 0,40]	[0,15; 0,50]	[0,20; 0,60]
Покрытие процентных расходов (EBIT/Проценты)	[0,97; 15,29]	[1,00; 5,00]	[1,20; 6,00]	[1,50; 8,00]	[2,00; 10,0]	[2,50; 12,0]
Обеспеченность обслуживания долга	[0,00; 1,46]	[0,60; 1,50]	[0,70; 1,80]	[0,80; 2,00]	[1,00; 2,50]	[1,20; 3,00]
Уровень перманентного капитала	[0,15; 0,85]	[0,15; 0,70]	[0,15; 0,75]	[0,25; 0,85]	[0,20; 0,80]	[0,30; 0,90]
Финансовый леверидж (Долг/Капитал)	[2,07; 0,10]	[1,50; 0,20]	[1,50; 0,15]	[1,50; 0,10]	[2,00; 0,00]	[2,00; 0,00]
Обеспеченность собственными оборотными средствами	[-0,19; 0,69]	[0,10; 0,45]	[0,15; 0,50]	[0,20; 0,65]	[0,25; 0,60]	[0,30; 0,70]
Рентабельность по чистой прибыли	[0,00; 0,09]	[0,00; 0,08]	[0,00; 0,10]	[0,00; 0,12]	[0,00; 0,15]	[0,00; 0,20]
Рентабельность собственного капитала	[0,00; 0,40]	[0,00; 0,25]	[0,00; 0,30]	[0,00; 0,35]	[0,05; 0,45]	[0,10; 0,50]
Оборачиваемость дебиторской задолженности	[85; 19]	[120; 40]	[90; 30]	[70; 25]	[60; 20]	[50; 15]

При выходе значений показателей за левые и правые пределы диапазона данному фактору (показателю) присваивается (соответственно желательности его роста или снижения) минимальный (например, 0) или максимальный балл (например, 10). В частности, для таких показателей, как финансовый леверидж и оборачиваемость дебиторской задолженности, действует принцип: чем ниже (в пределах диапазона), тем лучше (меньше степень финансовой зависимости – выше балл), и диапазон указан как [верхняя граница; нижняя граница] (от максимального допустимого значения к минимальному).

В подотраслях с низкой рентабельностью продукции, непредсказуемостью спроса и платежей клиентов (готовые изделия, трикотаж) высокая рентабельность капитала менее важна, чем способность сохранить ликвидность в ценовой войне или в кризисе. Это обстоятельство повышает допустимый "потолок" краткосрочной ликвидности для этих подотраслей (табл. 3). Чрезмерно высокие показатели краткосрочной ликвидности могут говорить о решении

этой проблемы путем сокращения инвестиций на развитие. Но для получения максимального балла по коэффициенту краткосрочной ликвидности (коэффициент текущей ликвидности мало пригоден для оценки ликвидности [12]) действует принцип: чем выше в пределах диапазона, тем лучше. За неэффективное использование денежных средств, когда коэффициент краткосрочной ликвидности выходит за верхние пределы диапазона (балл по коэффициенту краткосрочной ликвидности сверх максимального не повышается) и принимает чрезмерно высокие значения, снижается оценка за качество корпоративного управления.

Госзаказы и предоплаты в техническом текстиле, стабильные корпоративные заказы в производстве нетканых материалов снижают, а сложная дистрибуция (готовые изделия), работа с ритейлом (трикотаж) увеличивают нормальный цикл оборота дебиторской задолженности (табл. 3), смещая границы диапазонов вправо. Меньшие его значения (более быстрая оборачиваемость) получают более высокие баллы. Увеличение значений (больше дней) означает более длинный цикл и, соответственно, более низкий балл.

При установлении диапазона для показателей, связанных с привлечением (уровень перманентного капитала, FFO/Долг), обслуживанием долга (DSCR), процентной нагрузкой (EBIT/Проценты) и обеспеченностью оборотных средств собственными оборотными средствами, следует различать два разных аспекта: потребность в финансировании (капиталоемкость) и способность обслуживать долг (стабильность потоков). Производство технического текстиля, нетканых материалов и тканей требует более устойчивого финансирования из-за их высокой капиталоемкости, больших инвестиций и часто длительного цикла. Производство тканей характеризуется еще и более высокой потребностью в оборотном капитале в связи с необходимостью закупки дорогостоящего импортного сырья [10]. В то же время стабильный спрос на нетканые материалы, долгосрочные контракты на технический текстиль снижают риски и позволяют повышать долговую нагрузку. В отличие от технического текстиля и нетканых материалов, в производстве тканей высокая потребность в финансировании сочетается с меньшей способностью наращивать финансовую зависимость (ниже показатель FFO/Долг). Низкая маржинальность и сезонность производства готовых изделий и трикотажа ограничивают возможности обслуживания долга, смещая границы диапазонов влево. В итоге, чем выше маржинальность подотрасли, стабильнее спрос на ее продукцию и значительнее капиталоемкость, тем выше допустимый уровень долговой и процентной нагрузки (табл. 3). Долгосрочные госконтракты по техническому текстилю хотя и снижают риски, но требование гарантированного их исполнения (большего запаса прочности по показателю EBIT/Проценты) смещает границы диапазона по показателю процентной нагрузки вправо.

В текстиле есть как низкорентабельные массовые производства, так и высокорентабельные нишевые сегменты. Высокая конкуренция в производстве готовых изделий, трикотажа и тканей снижают рентабельность по чистой прибыли и рентабельность собственного капитала (ROE), в то время как специализированная продукция (нетканые материалы), высокие технологические барьеры и госзаказы (технический текстиль) ее повышают. Готовые изделия – наименее, а технический текстиль – наиболее рентабельный сегмент. Соответственно верхняя граница диапазонов рентабельности по техническому текстилю – самая высокая, а по готовым изделиям – самая низкая (табл. 3).

Таким образом, подотрасли со стабильным денежным потоком (технический текстиль, нетканые материалы) могут позволить более высокую долговую нагрузку (больший леверидж) и более низкие значения коэффициентов краткосрочной ликвидности. Подотрасли с волатильным денежным потоком (готовые изделия, трикотаж) требуют более консервативной долговой политики (меньший леверидж) и более высокие показатели ликвидности.

Предложенные диапазоны позволяют адаптировать кредитный анализ под специфику каждой подотрасли и минимизировать риски ошибочных оценок кредитоспо-

собности. Данные диапазоны отражают отраслевую специфику и позволяют более объективно сравнивать компании внутри каждой подотрасли.

ВЫВОДЫ

Унифицированные рейтинговые подходы к оценке кредитоспособности компаний текстильной промышленности требуют учета специфики ее подотраслей. Между инновационностью подотрасли и весом блока бизнес-рисков и качества управления имеется обратная зависимость, подтвержденная экспертными оценками систем искусственных интеллектов и обоснованная анализом отраслевой литературы. Во всех подотраслях текстильной промышленности преобладают финансовые риски, но в техническом текстиле их доминирование значительное (вес блока ФР более 65%), а в подотрасли готовых изделий соотношение финансовых рисков и рисков блока БРК почти паритетное.

Внутри блоков также выявлены закономерности вариации весовых коэффициентов факторов. Финансовый блок: показатели краткосрочной ликвидности, оборачиваемости и рентабельности по чистой прибыли ключевое значение приобретают для низкомаржинальных сегментов с волатильным спросом (готовые изделия, трикотаж), тогда как показатели долговой нагрузки и обслуживания долга приоритетны для капиталоемких подотраслей (технический текстиль, нетканые материалы, ткани).

Предложенные в статье нормированные диапазоны для показателей блока финансовых рисков позволяют их дифференцированно оценивать с учетом специфики конкретной текстильной подотрасли.

В дальнейшем точная калибровка весовых коэффициентов и нормативных диапазонов должна проводиться с участием отраслевых экспертов и на основе статистики дефолтов с учетом актуальных данных на рынке, региональных особенностей и стратегических приоритетов.

Предложенные весовые коэффициенты и нормативные диапазоны представляют пилотную, предварительную модель, требующую дальнейшей валидации, и являются логически и экономически обоснованным каркасом для построения адекватной рейтинговой модели оценки кредитоспособности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баходиров Н.К.* Эконометрический анализ экономической эффективности предприятий текстильной промышленности // Экономика и предпринимательство. 2024. № 3(164). С. 1133…1136. – DOI 10.34925/EIP.2024.164.3.220. EDN HERKJJ.

2. *Белгородский В.С., Кащеев О.В., Генералова А.В. и др.* Обеспечение деятельности предприятий текстильной промышленности в условиях финансового кризиса // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1(379). С. 18…22. – EDN TWHGOO.

3. *Дэн Ц.* Анализ жизненного цикла текстильных кластеров: на примере китайских текстильных предприятий провинции Чжэцзян // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2023. Т. 15, № 2(48). С. 58…79. – DOI 10.38050/2078-3809-2023-15-2-58-79. – EDN MVHQWI.

4. *Ерлыгина Е.Г., Ордов К.В.* Управление рисками на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 35…38. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_35. – EDN OXWODD.

5. *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. EDN UTOVXT.

6. *Земсков В.В., Прасолов В.И., Грачева А.Д.* Кластеризация предприятий текстильной промышленности по уровню развития в целях обеспечения ее экономической безопасности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1(415). С. 73…80. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_1_73. – EDN KTGHBA.

7. *Касаткин Б.П., Ясеновская Ю.А.* Инструменты риск-менеджмента в системе управления предприятиями текстильной промышленности // Экономика и управление. 2011. № 5(67). С. 86…90. – EDN NUJFAR.

8. *Корнилова О.А.* Проблемы финансирования модернизации предприятий текстильной промышленности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 8-1. С. 39…43. – DOI 10.17513 /vaael.1807. EDN WRTCQJ.

9. *Кузьмин Д.И., Савельев И.И., Ашин А.А., Аннин А.Г.* Особенности управления логистическими рисками в текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 13…17. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_13. – EDN GIUSVX.

10. *Миндлин Ю.Б.* Научные подходы к исследованию кластеризации текстильной промышленности // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 2(134). С. 68…73. – EDN IITTJS.

11. *Оборин М.С.* Влияние государственной поддержки на устойчивость текстильной промышленности регионов в текущих макроэкономических условиях // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 44…50. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_44. - EDN DZXNYG.

12. *Паштова Л.Г., Жиделев Н.А., Лихопой А.О.* Финансовые аспекты роста текстильной промышленности России // Экономический анализ: теория и практика. 2024. Т. 23, № 7(550). С. 1288…1305. – DOI 10.24891/ea.23.7.1288. – EDN CAQPZB.

13. *Ползунова Н.Н., Костыгова Л.А.* Качество экономического роста предприятий текстильной и швейной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4(394). С. 53…56. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_53. – EDN TTIKTN.

14. *Пятницкий Д.В.* Масштаб и финансовое состояние текстильных предприятий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6(414). С. 81…88. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_6_81. – EDN CJJXJM.

15. *Сапунжи А.Х.* Эволюция подходов к риск-классификации хозяйствующих субъектов Российской Федерации, относящихся к нефинансовым отраслям // Прогрессивная экономика. 2025. № 5. С. 89…105. – DOI 10.54861/27131211_2025_5_89. – EDN ICGOPM.

16. *Федотова М.А., Тазихина Т.В., Крячко В.С., Баландин В.С.* Рост стоимости бизнеса компаний текстильной промышленности – как основа повышения финансовой устойчивости // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 5(377). С. 23…27. – EDN YXCTPN.

17. *Хайтанова М.М., Лускатова О.В., Горшкова Е.В.* Риски предприятий текстильной промышленности и пути их минимизации // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2(392). С. 28…33. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_28. – EDN DIGHYR.

18. *Чеглакова С.Г., Журавлева Т.А.* Управление финансовым риском в организациях обрабатывающих производств // Управленческий учет. 2022. № 3-3. С. 707…714. – DOI 10.25806/uu3-32022707-714. – EDN JPUJZQ.

REFERENCES

1. *Baxodirov N.K.* Econometric analysis of economic efficiency of sectoral industry enterprises // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2024. No. 3(164). pp. 1133…1136. – DOI 10.34925/EIP.2024.164.3.220. EDN HERKJJ.

2. *Belgorodsky V.S., Kashcheev O.V., Generalova A.V. etc.* The providing activity enterprises of the textile industry in the conditions of the financial crisis // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. No. 1(379). pp. 18…22. – EDN TWHGOO.

3. *Deng JU.* Life cycle analysis of textile clusters: the example of Chinese textile enterprises in Zhejiang province // Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyj zhurnal. 2023. T. 15, No. 2(48). pp. 58…79. – DOI 10.38050/2078-3809-2023-15-2-58-79. – EDN MVHQWI.

4. *Erlygina E.G., Ordov K.V.* Risk management in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 3(393). pp. 35…38. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_35. – EDN OXWODD.

5. *Zemskov V.V., Prasolov V.I., Petrenko M.T.* Mechanism for ensuring financial security of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 2(404). pp. 32…42. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_32. – EDN UTOVXT.

6. *Zemskov V.V., Prasolov V.I., Gracheva A.D.* Clustering of textile industry enterprises by development level to provide its economic security // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. No. 1(415). pp. 73…80. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_1_73. – EDN KTGHBA.

7. *Kasatkin B.P., Yasenovskaya Yu.A.* Risk management instruments in textile company management // Ekonomika i upravlenie. 2011. No. 5(67). pp. 86…90. – EDN NUJFAR.

8. *Kornilova O.A.* Problems of financing the modernization of textile industry enterprises // Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava. 2021. No. 8-1. pp. 39…43. – DOI 10.17513/vaael.1807. – EDN WRTCQJ.

9. *Kuzmin D.I., Savelev I.I., Ashin A.A., Annin A.G.* Management features of logistics risks in textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 1(409). pp. 13…17. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_13. – EDN GIUSVX.

10. *Mindlin Yu.B.* Scientific approaches to the study of the textile industry clustering // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2022. No. 2(134). pp. 68…73. – EDN IITTJS.

11. *Oborin M.S.* The impact of state support on the sustainability of the textile industry of the regions in the current macroeconomic conditions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 1(403). pp. 44…50. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_44. – EDN DZXNYG.

12. *Pashtova L.G., Zhidelev N.A., Likhopoi A.O.* Financial aspects of the Russian textile industry growth // Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika. 2024. T. 23, No. 7(550). pp. 1288…1305. – DOI 10.24891 /ea.23.7.1288. – EDN CAQPZB.

13. *Polzunova N.N., Kostygova L.A.* Quality of economic growth of textile and clothing industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 4(394). pp. 53…56. – DOI 10.47367/0021-

3497_2021_4_53. – EDN TTIKTN.

14. *Pyatnitskiy D.V.* Scale and financial condition of textile enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 6(414). pp. 81…88. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_6_81. – EDN CJJXJM.

15. *Sapunzhi A.H.* The evolution of approaches to the risk classification of economic entities of the Russian Federation related to non-financial industries // Progressivnaya ekonomika. 2025. No. 5. pp. 89…105. – DOI 10.54861/27131211_2025_5_89. – EDN ICGOPM.

16. *Fedotova M.A., Tazihina T.V., Kryachko V.S., Balandin V.S.* Growth of the business value of textile industry companies as a basis of financial stability growth // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 5(377). pp. 23…27. – EDN YXCTPN.

17. *Haytanova M.M., Luskatova O.V., Gorshkova E.V.* Risks of the enterprises of textile industry and the ways of their minimization // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 2(392). pp. 28…33. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_28. – EDN DIGHYR.

18. *Cheglakova S.G., Zhuravleva T.A.* Financial risk management in manufacturing organizations // Upravlencheskij uchet. 2022. No. 3-3. pp. 707…714. – DOI 10.25806/uu3-32022707-714. – EDN JPUJZQ.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства ИВГПУ. Поступила 09.04.26.

УДК 658.58:677.05:504.06
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_133

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ДО ДЕВЕЛОПМЕНТА

TEXTILE ENTERPRISES LIFECYCLE MANAGEMENT: FROM TECHNOLOGICAL RIGIDITY TO DEVELOPMENT

Л.А. ОПАРИНА[1], К.Б. СТРОКИН[2], Н.А. ЩЕРБАКОВА[1], А.Б. ПЕТРУХИН[1], В.А. ОГУРЦОВ[1], А.С. ГОРЕВА[1]

L.A. OPARINA[1], K.B. STROKIN[2], N.A. SHCHERBAKOVA[1], A.B. PETRUKHIN[1], V.A. OGURTSOV[1], A.S. GOREVA[1]

**([1]Ивановский государственный политехнический университет,
[2]Сахалинский государственный университет)**

**([1]Ivanovo State Polytechnic University,
[2]Sakhalin State University)**

E-mail: l.a.oparina@gmail.com, strokin07@rambler.ru, ivsherb@yandex.ru

В статье рассматриваются особенности и проблемы управления жизненным циклом объектов капитального строительства – предприятий текстильной промышленности. Актуальность темы обусловлена современными экономическими, технологическими и экологическими вызовами, с которыми сталкивается отрасль: высокой динамикой спроса, необходимостью быстрой модернизации, значительными эксплуатационными и экологическими издержками. Управление жизненным циклом (УЖЦ) текстильных предприятий рассматривается как стратегический инструмент, позволяющий изначально закладывать в объекты гибкость, ресурсоэффективность и экологическую безопасность, что способствует снижению будущих затрат и сохранению конкурентоспособности. Авторы анализируют теоретические основы и современные практики УЖЦ, выявляют и систематизируют отраслевые особенности текстильных предприятий, влияющие на проектирование, строительство, эксплуатацию, модернизацию и вывод из эксплуатации. Особенностью текстильных фабрик является их принадлежность к сложным инженерно-технологическим комплексам, где архи-

тектура подчинена производству. Ключевые требования включают контроль микроклимата, виброустойчивость, химическую стойкость и эффективную логистику. Архитектурно-планировочная адаптивность зданий, позволяющая изменять их функциональное назначение или перестраивать производственные линии без капитальной реконструкции, признана фактором их долгосрочной экономической жизнеспособности. На основе экспертного опроса выявлены основные проблемы: узкая технологическая специализация и жесткая привязка конструктивно-планировочных решений к конкретным производственным процессам, что существенно затрудняет последующую модернизацию; высокие эксплуатационные расходы; высокие эксплуатационные расходы на поддержание параметров среды и экологическую безопасность; дисбаланс затрат между строительством и эксплуатацией; устаревшая нормативная база. Особое внимание уделено сложному и дорогостоящему процессу вывода объектов из эксплуатации, включающему рекультивацию и социальные аспекты. На примере Ивановской области показано, что отсутствие системного подхода приводит к появлению заброшенных промышленных зон, становящихся очагами социального неблагополучия. Авторы утверждают, что при грамотном управлении эти территории могут быть трансформированы в общественные или жилые пространства. В заключение предлагаются рекомендации по внедрению комплексного подхода к управлению жизненным циклом: использование гибких архитектурных решений, учет экологических требований на всех этапах и сочетание государственной поддержки с частными инвестициями для успешного редевелопмента промышленных территорий.

The article examines the specific features and problems of life-cycle management for capital construction facilities in the textile industry. The relevance of the topic stems from the current economic, technological, and environmental challenges facing the industry: highly dynamic demand, the need for rapid modernization, and significant operating and environmental costs. Life cycle management (LCM) for textile enterprises is viewed as a strategic tool that enables the initial design of facilities with flexibility, resource efficiency, and environmental safety, thereby reducing future costs and maintaining competitiveness. The authors analyze the theoretical foundations and current practices of LCM, identifying and systematizing the industry-specific characteristics of textile enterprises that influence design, construction, operation, modernization, and decommissioning. Textile factories represent complex engineering and technological systems in which architecture serves production needs. Key requirements include microclimate control, vibration resistance, chemical resistance, and efficient logistics. he adaptability of buildings, allowing for changes in their functional purpose or the reconstruction of production lines without major reconstruction, is recognized as a factor in their long-term economic viability. Based on an expert survey, the authors identify the main problems: narrow technological specialization and rigid links between structural and planning solutions and specific production processes, which significantly complicate subsequent modernization; high operating costs for maintaining environmental parameters and ensuring environmental safety; an imbalance between construction and operation costs; and an outdated regulatory framework. The article pays particular attention to the complex and costly process of decommissioning such facilities, including land remediation and social aspects. Using Ivanovo Region as an example, the authors show that the absence of a systematic approach leads to abandoned industrial zones that become centers of social disadvantage. The authors argue that competent man-

agement can transform these areas into public or residential spaces. In conclusion, the article proposes recommendations for implementing an integrated approach to life-cycle management: the use of flexible architectural solutions, consideration of environmental requirements at all stages, and a combination of government support and private investment for the successful redevelopment of industrial areas.

Ключевые слова: управление, жизненный цикл, текстильное предприятие, проектирование, строительство, эксплуатация, демонтаж, экология, текстильная отрасль.

Keywords: management, life cycle, textile enterprise, design, construction, operation, dismantling, ecology, textile industry.

Введение

Актуальность темы управления жизненным циклом объектов текстильной промышленности обусловлена совокупностью современных экономических, технологических и экологических вызовов.

Текстильная отрасль является одной из самых динамичных и подверженных влиянию моды. Спрос меняется быстро, требуя от предприятий гибкости и способности к оперативной модернизации. Управление объектом с учетом всего жизненного цикла (от проектирования до утилизации) позволяет изначально закладывать такую адаптивность, что снижает будущие затраты на реконструкцию и минимизирует простои. В условиях высокой стоимости энергоресурсов и воды, которые являются основными статьями расходов в текстильном производстве, проектирование энерго- и ресурсоэффективных зданий и систем становится исключительно важным для снижения себестоимости продукции и сохранения конкурентоспособности.

Кроме того, актуальность диктуется ужесточением экологических норм и требований устойчивого развития. Текстильные предприятия традиционно относятся к числу значительных источников загрязнения воды и воздуха. Современные стандарты и общественное давление требуют внедрения замкнутых циклов водопользования, эффективных систем очистки стоков и выбросов, а также принципов циркулярной экономики [1]. Управление жизненным циклом сфокусировано не только на этапе эксплуатации, но и на экологически безопасном выводе объекта из эксплуатации и утилизации отходов, что соответствует глобальным трендам экологического, социального и корпоративного управления [2].

Объекты текстильной промышленности – это не типовые здания. Они представляют собой сложные инженерно-технологические комплексы, где архитектура жестко подчинена производственному процессу с его вибрациями, агрессивными средами, особым микроклиматом и логистикой. Игнорирование этих особенностей на стадии проектирования ведет к катастрофическому росту затрат на этапе эксплуатации, частым поломкам и невозможности внедрения новых технологий. Поэтому необходим всесторонний подход, рассматривающий объект как единый организм [3, 4].

Многие действующие предприятия были построены десятилетия назад по устаревшим нормативам. Их модернизация и новое строительство требуют новых подходов, объединяющих знания в области строительства, машиностроения, химической технологии и экологии. Материал, изложенный в статье, посвященной особенностям управления жизненным циклом таких объектов, позволяет наметить пути решения данной проблемы и систематизировать отраслевые подходы к ней.

Целью исследования является изучение специфических отраслевых особенностей текстильных предприятий в процессе управления их жизненным циклом для повышения как экономической, так и эксплуатационной эффективности.

Объектом исследования является процесс управления жизненным циклом объектов капитального строительства промыш-

ленного назначения. Предметом данного исследования являются отраслевые особенности, методы и инструменты управления жизненным циклом, применяемые к объектам строительства предприятий текстильной промышленности на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации, модернизации и вывода из эксплуатации.

Методы исследования

Для комплексного исследования по обозначенной теме применялся междисциплинарный подход, сочетающий методы системного анализа, экономико-математического моделирования и современные цифровые технологии. Для сбора и анализа информации использованы статистические данные из открытых источников и метод экспертного анализа и анкетирования.

Результаты и обсуждение

Управление жизненным циклом (УЖЦ) объектов в текстильной промышленности имеет ряд ярко выраженных особенностей, обусловленных спецификой самого производства. Это не просто строительство здания, а создание высокоспециализированной технологической среды.

Все начинается с того, что архитектура и планировка будущего предприятия целиком зависят от диктата технологического процесса. Здание проектируют, отталкиваясь от маршрутов движения сырья и готовой продукции, от габаритов и особенностей ткацкого и отделочного оборудования, которое задает особые требования к прочности фундаментов и перекрытий, способных гасить постоянные вибрации.

Центральной частью такого объекта становятся его инженерные системы, чья сложность и масштаб обусловлены самой природой текстильного производства. Предприятие требует огромного количества воды особого качества для процессов крашения и промывки, а значит, и мощных очистных сооружений с возможностью рециркуляции. Оно крайне энергоемко и нуждается в колоссальных объемах тепла и электричества для сушки и термофиксации, что часто ведет к созданию собственных энергоцентров. При этом многие технологические среды здесь химически агрессивны, что диктует применение специальных коррозионно-стойких материалов в конструкциях и коммуникациях [5].

Поскольку конъюнктура моды меняется стремительно, а производственные линии требуют постоянной модернизации и внедрения нового оборудования, основным принципом управления становится заложенная гибкость. Производственные корпуса, часто большепролетные и лишенные внутренних колонн, должны позволять относительно легко реконфигурировать цеха, менять оборудование и технологические потоки без кардинальной перестройки всего здания. Эта адаптивность – залог долгой и экономически оправданной жизни объекта.

Не менее важной чертой является постоянное внимание к экологическим и санитарным рамкам. Проектирование и эксплуатация неразрывно связаны с системами аспирации для удаления текстильной пыли, контролем за выбросами и, что особенно важно, с очисткой сложных по составу стоков. Предприятие немыслимо и без развитой логистической инфраструктуры – масштабных складов для сырья и готовой продукции, требующих особых условий, и удобных подъездов для большегрузного транспорта.

В итоге основная тяжесть затрат жизненного цикла смещается со стадии строительства на длительную фазу эксплуатации, где доминируют расходы на энергию, воду, реагенты и поддержание работы сложнейших инженерных систем, а завершающий этап – вывод из эксплуатации – тоже сопряжен со специфическими сложностями, такими как утилизация оборудования с остатками химикатов и рекультивация территории. Таким образом, управление таким объектом – это непрерывный процесс балансирования между технологической необходимостью, экономической эффективностью и экологической ответственностью на всех этапах его существования.

Данный перечень особенностей приведен весьма укрупненно и является далеко не полным. Для определения наиболее значимых из них в аспекте влияния на процесс УЖЦ был выполнен экспертный опрос 35 ведущих специалистов текстильной отрасли, среди которых были технологи, главные

инженеры проектов с опытом работы более 15 лет, а также экологи и логисты. Анализ их мнений позволил выявить и ранжировать наиболее важные особенности, которые необходимо учитывать при принятии решений на каждом этапе жизненного цикла текстильных предприятий. Представленные далее данные основаны на медианных значениях и диапазонах, указанных респондентами.

Минимальное число экспертов (n) определяли, используя подход больших чисел, по формуле:

$$n = \frac{Z^2 * p * (1-p)}{e^2}, \qquad (1)$$

где Z – коэффициент доверия (принят равным 1,96 для доверительного интервала 95%); p – предполагаемая доля положительных ответов (принято 0,5); e – допустимая ошибка (принимаем 0,05).

Анализ степени согласованности ответов экспертов и значимости экспертных мнений проводился путем расчета коэффициента конкордации Кендалла (W), отражающего уровень согласованности экспертных мнений, и критерия согласия Пирсона (χ^2), отражающего значимость экспертного мнения:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^3(n^3-n) - m\cdot\sum T_i}, \qquad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}m\cdot n(n+1) + {}^1/_{n-1}m\sum T_i}. \qquad (3)$$

где S – квадрат контрольного числа в матрице рангов мнений экспертов; m – численность экспертной группы; n – количество параметров экспертной оценки; Ti – связанность мнения i-го эксперта.

Проектирование любого текстильного предприятия начинается не с архитектуры, а с технологии. Абсолютно все опрошенные эксперты подтвердили, что архитектурно-планировочные решения носят вторичный характер и полностью диктуются утвержденной технологической схемой. Это накладывает жесткие требования к инженерным системам. Например, для прядильного производства критически важно поддерживать температуру на уровне 24…26°C с минимальным допуском и влажность в диапазоне 55…65%, поскольку даже незначительное отклонение ведет к росту обрывности нити. В ткацких цехах, напротив, требуется повышенная влажность – 70…80%, что необходимо для стабильной работы станков, перерабатывающих натуральные волокна. Кроме того, тяжелое оборудование создает значительные вибрационные нагрузки, из-за чего фундаменты под станки в большинстве случаев проектируются отдельно от несущего каркаса здания.

Особое внимание эксперты уделили инженерным сетям, которые на подобных объектах отличаются высокой ресурсоемкостью. Особенно это касается водопотребления, например, в красильно-отделочном производстве на один килограмм ткани может уходить от 0,15 до 0,4 кубического метра воды. Для крупного завода суточное потребление достигает 6…8 тысяч кубометров. Именно поэтому современные проекты обязательно включают системы оборотного водоснабжения с рециркуляцией до 85%, что позволяет сдерживать рост себестоимости продукции. Энергоемкость производств также высока: полный цикл переработки требует от 2,5 до 4,5 МВт·ч на тонну продукции, при этом почти половина энергии уходит на процессы сушки. Химическая агрессивность сред в отделочных цехах значительно сокращает срок службы обычных коммуникаций, делая применение специализированных материалов жизненной необходимостью [6…8].

Важным трендом, отмеченным экспертами, является потребность в гибкости и адаптивности объектов. Большинство респондентов указали, что технологическое оборудование требует модернизации каждые 7…10 лет. Чтобы упростить этот процесс, оптимальным решением считаются большепролетные каркасы без внутренних колонн. Хотя это увеличивает первоначальные инвестиции, такая архитектура существенно удешевляет будущие реконфигурации цехов [9].

Экологические и санитарно-гигиенические аспекты занимают значительную долю

в структуре капитальных затрат – от 15 до 25%. Проектировщикам приходится учитывать образование большого количества отходов: от текстильной пыли, требующей мощных систем аспирации, до шлама очистных сооружений. Высокий уровень шума в ткацких цехах также влечет за собой дополнительные расходы на звукоизоляцию.

Логистическая интеграция объекта начинается еще на этапе проектирования. Расчеты показывают, что для хранения месячного запаса сырья требуются огромные складские площади, а годовой грузооборот предприятия измеряется десятками тысяч тонн, что диктует необходимость в значительном количестве машино-мест для большегрузного транспорта.

Наконец, эксперты подчеркнули важность взгляда на весь жизненный цикл объекта. Структура затрат наглядно демонстрирует доминирование эксплуатационных расходов (до 75%) над капитальными вложениями. При этом этап вывода из эксплуатации может оказаться неожиданно сложным и длительным. Полный демонтаж и рекультивация территории предприятия с химико-отделочным производством может занять до четырех лет, причем значительная часть времени уйдет на экологический мониторинг и очистку грунтов.

Полученные результаты для лучшего восприятия представим в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1

№	Категория особенностей	Ключевые характеристики и требования
1	Жесткая зависимость от технологического процесса	1.1. Первичность техпроцесса: архитектура и планировка полностью подчинены логистике производства (прядение, ткачество, отделка). 1.2. Специфические требования к помещениям: поддержание особого микроклимата (температура, влажность) для снижения обрывности нити, что требует сложных систем вентиляции и кондиционирования. 1.3. Нагрузки и вибрации: мощное оборудование создает значительные динамические нагрузки, что должно быть учтено в конструкции фундаментов и перекрытий.
2	Особенности инженерных сетей и коммуникаций	2.1. Водопотребление и водоотведение: высокое потребление воды (крашение, промывка) требует систем подачи воды особого качества, мощных очистных сооружений и рециркуляции. 2.2. Энергоемкость: процессы сушки, термофиксации и работы оборудования требуют больших объемов тепловой и электрической энергии, что диктует необходимость собственных энергоцентров или надежных вводов. 2.3. Химическая агрессивность сред: использование кислот, щелочей, красителей требует применения коррозионно-стойких материалов в конструкциях, канализации и вентиляции.
3	Гибкость и адаптивность (модернизируемость)	3.1. Быстрое устаревание технологий: объект должен проектироваться с учетом возможной реконфигурации цехов, замены оборудования и изменения технологических потоков без кардинальной перестройки здания. 3.2. Модульность планировок: часто применяются большепролетные конструкции без внутренних колонн для обеспечения свободы перестановки технологических линий.
4	Экологические и санитарно-гигиенические аспекты	4.1. Высокий уровень регулирования: жесткие требования по выбросам (пыль, волокна), сбросам сточных вод и утилизации отходов (красители, шлам). 4.2. Охрана труда: необходимость систем аспирации для удаления текстильной пыли, шумопоглощения и безопасных планировочных решений.
5	Логистическая интеграция	5.1. Складские комплексы: масштабные склады для сырья (хлопок, химические волокна) и готовой продукции, требующие особых условий хранения (влажность, пожаробезопасность). 5.2. Транспортная инфраструктура: удобные подъезды для большегрузного транспорта (доставка сырья и отгрузка готовой продукции).
6	Особенности этапа эксплуатации и вывода из эксплуатации	6.1. Высокие операционные затраты: основные затраты жизненного цикла приходятся на эксплуатацию (энергия, вода, химреагенты, обслуживание систем). 6.2. Сложный демонтаж и рекультивация: проблемы с утилизацией оборудования, содержащего химикаты, и необходимость очистки территории.

Проведенное исследование отраслевых особенностей во многом определяет и перечень отраслевых проблем процесса УЖЦ текстильных производств [10…12].

Этап проектирования и строительства: диктат технологии и системные противоречия

Управление жизненным циклом объектов строительства в текстильной промышленности представляет собой сложную задачу, сопряженную с системными противоречиями. В основе этих трудностей лежит фундаментальная технологическая жесткость: здание создается как оболочка для конкретного производственного процесса, что делает его крайне негибким инструментом в долгосрочной перспективе. Любая модернизация оборудования или смена ассортимента продукции неизбежно упирается в физические ограничения строительных конструкций, вынуждая владельцев нести колоссальные расходы на реконструкцию.

Ситуацию усугубляет инфраструктурный и нормативный разрыв. Огромные логистические потоки сырья и готовой продукции часто не находят поддержки в виде адекватной транспортной развязки, а устаревшие строительные нормы мешают внедрять современные энергоэффективные решения, запирая отрасль в рамках старых технологических и архитектурных парадигм [13].

Этап эксплуатации и модернизации: дисбаланс затрат и инженерные вызовы

Проблема негибкости усугубляется невероятной сложностью инженерной инфраструктуры. Поддержание строгих параметров микроклимата, борьба с вибрациями от тяжелого оборудования и необходимость противостоять химической агрессии сточных вод превращают эксплуатацию объекта в непрерывный и ресурсозатратный процесс. Именно на этом этапе жизненного цикла проявляется самый острый дисбаланс: первоначальные вложения в строительство составляют лишь малую долю от общих затрат, в то время как львиная доля расходов – зачастую до трех четвертей бюджета – уходит на оплату электроэнергии, воды, химических реагентов и бесконечный ремонт изношенных систем.

Экологический фактор добавляет еще один уровень сложности. Агрессивные среды, образующиеся в процессе отделки тканей, создают отложенную угрозу, которая наиболее остро ощущается на финальном этапе жизненного цикла – при выводе предприятия из эксплуатации. Рекультивация загрязненных почв и демонтаж сооружений могут затянуться на годы и потребовать значительных финансовых вливаний.

Выявленные в результате экспертного опроса проблемы управления жизненным циклом объектов строительства текстильных предприятий представлены в табл. 2.

Таблица 2

Группа проблем	Суть проблемы	Последствия и влияние на жизненный цикл
Технологическая жесткость	Здание проектируется под конкретную, утвержденную технологию. Архитектура вторична по отношению к оборудованию	Высокие затраты на реконструкцию и модернизацию (каждые 7…10 лет). Сложность адаптации к новым видам продукции
Сложность инженерной инфраструктуры	Экстремальные требования к микроклимату (влажность, температура), вибрациям от станков и химической стойкости коммуникаций	Быстрый износ систем, высокие эксплуатационные расходы. Частая замена трубопроводов из-за коррозии
Экологические и санитарные риски	Высокая химическая агрессивность стоков (широкий диапазон pH), образование пыли и шлама, высокий уровень шума	Необходимость огромных вложений в очистные сооружения. Сложности и высокие затраты на рекультивацию при выводе из эксплуатации
Экономическая неэффективность	Дисбаланс затрат: 70…75% расходов приходится на эксплуатацию и лишь 20…25% на строительство	Экономия на этапе проектирования ведет к кратному росту расходов в будущем. Низкая инвестиционная привлекательность

Окончание табл. 2

Логистическая изолированность	Огромные грузопотоки сырья и готовой продукции требуют развитой транспортной инфраструктуры, которая часто не предусмотрена	Рост транспортных издержек, простои, зависимость от внешних логистических операторов
Устаревание нормативной базы	Действующие СНиПы и ГОСТы не учитывают специфику современного автоматизированного оборудования и требования к энергоэффективности	Сложности при экспертизе проекта, невозможность внедрения инноваций без нарушения формальных требований

Этап вывода из эксплуатации и редевелопмента: технологические, экологические и правовые вызовы

В контексте проблем управления жизненным циклом объектов текстильной промышленности (табл. 2) особое значение приобретает этап вывода предприятий из эксплуатации. Актуальность данного этапа обусловлена комплексом технологических, экологических, социальных и правовых вызовов.

Текстильное производство характеризуется высокой химической агрессивностью стоков и интенсивным использованием водных ресурсов. После прекращения деятельности предприятий остаются загрязненные почвы, резервуары с химическими реагентами, отстойники, что требует проведения дорогостоящей рекультивации и создает долгосрочные экологические риски для прилегающих территорий.

Закрытие градообразующих текстильных предприятий приводит к структурной безработице и требует реализации программ переподготовки персонала и создания альтернативных рабочих мест. Экономическая нецелесообразность модернизации устаревших мощностей в условиях ужесточения экологических норм и перехода к "зеленым" технологиям делает вывод из эксплуатации необходимым элементом отраслевой трансформации.

Процесс демонтажа осложняется наличием асбестосодержащих материалов, необходимостью утилизации специализированного оборудования, пропитанного химическими веществами, а также требованиями по сохранению объектов историко-архитектурного наследия. Логистическая изолированность предприятий (табл. 2) создает дополнительные ограничения по вывозу промышленных отходов.

Ужесточение законодательных требований к владельцам промышленных площадок возлагает на них ответственность за экологическое состояние территории после прекращения деятельности, что превращает вывод из эксплуатации в юридически сложный процесс, требующий значительных финансовых резервов и экспертного сопровождения [14, 15].

Региональная специфика завершения жизненного цикла: проблема "руинированного забвения" (на примере Ивановской области)

Региональная специфика на примере текстильной промышленности Ивановской области демонстрирует проблему "руинированного забвения" предприятий, когда экономическая нецелесообразность, правовая неопределенность и экологическое бремя приводят к длительной консервации объектов. Заброшенные промышленные территории становятся зонами социального неблагополучия, однако при системном подходе могут быть трансформированы в объекты нового функционального назначения (жилые, общественные, креативные пространства).

Таким образом, вывод из эксплуатации текстильных предприятий представляет собой многоаспектный, продолжительный и капиталоемкий процесс, стоимость которого нередко превышает остаточную стоимость активов. Современный подход предполагает не просто демонтаж производственных мощностей, а управляемую трансформацию индустриальных территорий с минимизацией экологического ущерба, рекультивацией земель и интеграцией освобожденных площадок в городскую среду. Завершающий этап жизненного цикла ивановских фабрик в настоящее время можно определить фразой: неопределенность как постоянное состояние.

В Ивановской области, исторически бывшей "текстильным цехом" России, завершающий этап жизненного цикла многих фабрик приобретает затяжной, а часто и перманентный характер. Здесь редко наблюдается классический, управляемый вывод предприятий из эксплуатации. Вместо этого сложилась ситуация хронического перехода в состояние "руинированного забвения", которое стало своеобразной нормой.

Подавляющее большинство предприятий не были выведены из эксплуатации по четкому плану с последующей рекультивацией или реновацией территории. Они прошли через этап упадка, остановки, частичной распродажи оборудования и консервации, которая так и не наступила. В результате ландшафт области, особенно в ее старых промышленных центрах вроде Иванова, Вичуги, Кинешмы и др., формируют полузаброшенные корпуса из красного кирпича. Эти здания не функционируют, но и не сносятся (рис. 1 – бывшая Писцовская ткацкая фабрика (Ивановская область, п. Писцово)).



Рис. 1

Причинами "замороженного" завершения являются экономическая нецелесообразность, правовая и имущественная неопределенность, экологическое бремя как сдерживающий фактор, культурно-исторический статус.

Полноценный снос или санация огромных фабричных площадей требует колоссальных инвестиций, которые в условиях региона вряд ли окупятся. Рыночная стоимость земли под такими объектами, как правило, невысока, что делает проекты редевелопмента малопривлекательными для крупных инвесторов. Проще и дешевле оставить здания в статусе "актива на балансе" или бросить их, переложив бремя на муниципалитет.

Многие объекты имеют сложную историю приватизации, запутанные права собственности, множественных наследников или долги. Это создает правовой вакуум, где ни один субъект не готов нести ответственность и расходы за ликвидацию или восстановление. Муниципальные власти часто не имеют законных оснований или ресурсов для принудительного сноса аварийных строений, принадлежащих частным лицам или обанкротившимся фирмам.

За десятилетия работы в почве и конструкциях накопились загрязнения – масла, химикаты для обработки тканей. Любые активные действия (снос или реконструкция) требуют дорогостоящего экологического обследования и очистки, что еще больше повышает порог входа для нового инвестора. Это бремя "замораживает" ситуацию, так как проще игнорировать проблему, чем браться за ее дорогостоящее решение.

Часть фабричных комплексов признана объектами культурного наследия (памятниками промышленной архитектуры). Это формально защищает их от сноса, но не гарантирует финансирования на консервацию или реставрацию. В итоге памятник медленно разрушается, находясь в правовой ловушке: снести нельзя, восстановить не на что.

Последствиями перманентного "завершающего этапа" являются урбанистическая деградация, социальный пессимизм, экологические риски и упущенные возможности. Гигантские пустующие территории в центрах городов становятся зонами социального неблагополучия, тормозят развитие прилегающих районов, снижают качество городской среды. Эти руины – материальное напоминание о былой силе и последующем упадке, формирующее у местных жителей ощущение стагнации и утраченных перспектив. Постепенное разрушение конструкций ведет к обрушению кровель, стен, что опасно для людей. Загрязняющие вещества продолжают медленно мигриро-

вать в окружающую среду. Потенциал этих площадок – их локация, инфраструктура, историческая аура – не используется для создания новых рабочих мест, жилья, социальной и современной промышленной инфраструктуры.

Несмотря на доминирующую тенденцию забвения, завершающий этап жизненного цикла текстильных фабрик в Ивановской области не является абсолютно однородным. Встречаются и другие модели, демонстрирующие попытки адаптации или иного использования наследия.

Одним из вариантов является частичное перепрофилирование ("лоскутное" использование). Это наиболее распространенный путь – не комплексное преобразование всего гигантского комплекса, а фрагментарное освоение. Отдельные корпуса или этажи могут быть выкуплены или арендованы под склады, автосервисы, мелкие производства (например, порезку пенопласта или изготовление пластиковых окон). Иногда в более сохранившихся зданиях располагаются офисы, торговые точки или даже ночные клубы. Такое использование лишь консервирует общую деградацию комплекса, так как новые арендаторы не инвестируют в инфраструктуру и облик всего объекта, а лишь приспосабливают под свои нужды небольшой угол некогда единого организма.

Другим вариантом может быть точечная креативная адаптация. В Иванове, где концентрация таких объектов особенно высока, наметился тренд на использование промышленной эстетики в креативных и образовательных проектах. Наиболее известный пример – с 2005 года в здании прядильного производства фабрики "Красная Талка" располагается отраслевой текстильный комплекс "ТекстильПрофи – Иваново". Этот проект демонстрирует потенциал перезагрузки, но он скорее исключение, подтверждающее правило. Для его реализации потребовалось сочетание частной инициативы, поддержки местных властей и определенного стечения обстоятельств. Повторить эту модель в масштабах всей области сложно из-за недостатка креативного класса, инвестиций и устойчивого спроса на такие пространства.

В ряде случаев фабричная история становится частью локальной идентичности. Например, в городе Вичуге одна из полуразрушенных фабрик включена в туристический маршрут как памятник промышленной архитектуры (рис. 2 – бывшая Вичугская прядильно-ткацкая фабрика им. В.П. Ногина (Ивановская обл., г. Вичуга)).



Рис. 2

Однако это, как правило, пассивная музеефикация – установка информационной таблички без реальной консервации самого объекта. Такие объекты продолжают разрушаться, но уже в статусе "достопримечательности", что создает гротескную картину: экскурсантам показывают руины как свидетельство былого величия.

Завершающий этап для большинства ивановских фабрик – это не прелюдия к чему-то новому, а самостоятельное, растянутое во времени состояние. Выход из него возможен только при сочетании нескольких факторов (изменение экономической и экологической логики, интеграция в региональную стратегию):

- появление крупного инвестора с внятным проектом (например, логистический хаб, крупный торгово-развлекательный комплекс, кампус) или системная государственная программа по реабилитации промышленных территорий с софинансированием;

- четкие механизмы по изъятию бесхозяйных и опасных объектов у недобросовестных собственников и передаче их муниципалитетам или инвесторам;

- включение этих территорий в программы развития туризма (промышленный

туризм, event-площадки) или в новые производственные кластеры (например, связанные с композитными материалами или легкой промышленностью нового типа), где могут быть востребованы старые цеха с их высокими потолками и прочными стенами.

В отсутствие этих системных изменений завершающий этап будет продолжаться до физического обрушения конструкций или до того момента, когда стоимость земли в этих районах вырастет настолько, что снос и новое строительство станут экономически оправданными. А пока краснокирпичные громады, молчаливые свидетели "ситцевой революции", продолжают свое медленное движение к состоянию архитектурной и физической деградации.

Завершающий этап существования фабрик – это не только физическая деградация зданий, но и процесс, глубоко затрагивающий социальную грань городов. Многие фабрики исторически были градообразующими предприятиями, вокруг которых формировались жилые районы (фабричные слободы). Их запустение создает в городской среде "черные дыры" – обширные, труднопроходимые и визуально депрессивные зоны. Эти зоны становятся барьерами для пешеходной связности, снижают привлекательность прилегающих кварталов и способствуют общему упадку городской среды. Улицы, которые раньше вели к проходной, теперь упираются в забор с колючей проволокой или в заросший бурьяном пустырь.

Для старших поколений фабричные корпуса – это места трудовой славы, социальной общности и жизненного уклада. Их разрушение символически стирает эту идентичность. Для молодежи эти же объекты – либо невидимый фон, либо "страшилки", места для паркура или неформальных тусовок. Происходит смена нарратива: от "здесь делали ткань для всей страны" к "здесь опасно и ничего нет". Таким образом, материальный распад сопровождается эрозией исторической преемственности.

Часто фабричные территории представляют собой юридический "клубок": часть зданий может принадлежать банкротящемуся предприятию, часть сдана в аренду, часть выкуплена сторонними лицами, а некоторые участки и вовсе имеют неясный правовой статус. Это делает невозможным ни согласованную реконструкцию, ни даже банальное поддержание порядка и безопасности. Муниципалитеты не имеют ресурсов для содержания таких объектов, а собственники (если они есть) часто не заинтересованы в инвестициях.

Заброшенные промышленные зоны несут в себе скрытые угрозы, откладывающие решение их судьбы на будущее. На территориях многих фабрик десятилетиями использовались химикаты, красители, масла. Почва и грунтовые воды могут быть загрязнены. Проведение полноценного экологического обследования и последующей рекультивации – это колоссальные расходы, которые отпугивают потенциальных инвесторов. Без решения этого вопроса любое новое использование территории (особенно жилое или рекреационное) невозможно.

Коммуникации (электричество, водопровод, канализация), подведенные к фабрикам, часто устарели физически и морально, рассчитаны на гигантские объемы и не приспособлены для фрагментарного использования. Их модернизация под нужды нового девелопмента сравнима по стоимости со строительством новой инфраструктуры "с нуля".

Таким образом, завершающий этап для текстильных фабрик Ивановской области – это сложный, многогранный процесс, сочетающий в себе: физический упадок (постепенное разрушение материальной субстанции); функциональную деградацию (утрату первоначального назначения и неудачные попытки найти новое); социальную амнезию (стирание промышленной идентичности из коллективного сознания); правовой и экологический тупик (накопление проблем, делающих реабилитацию все дороже и сложнее).

Эти объекты находятся в состоянии промежутка – между промышленной эпохой, их породившей, и непонятным будущим. Они являются одновременно и тяжелым бременем для городов, и уникальной перспективой с возможностями девелопмента территорий.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Управление жизненным циклом объектов текстильной промышленности – это не только техническая, но и стратегическая задача. Она обусловлена высокой динамикой отрасли, необходимостью быстрой модернизации, а также значительными эксплуатационными и экологическими издержками. Современные вызовы (экономические, технологические, экологические) требуют изначально закладывать в объекты гибкость, ресурсоэффективность и экологическую безопасность.

2. Основными отраслевыми особенностями являются: объекты текстильной промышленности – это сложные инженерно-технологические комплексы, где архитектура и инженерные системы полностью подчинены производственному процессу, особое значение имеют требования к микроклимату, вибрациям, химической стойкости, а также к логистике и складированию; гибкость и возможность реконфигурации зданий – залог их долгой экономической жизни; экологические и санитарные аспекты занимают до 25% капитальных затрат и требуют сложных систем очистки и рециркуляции.

3. Основные проблемы управления жизненным циклом заключаются в следующем: здания проектируются под конкретную технологию, что затрудняет модернизацию и приводит к высоким затратам на реконструкцию; поддержание строгих параметров микроклимата, борьба с вибрациями и химической агрессией требуют постоянных вложений; высокие затраты на очистные сооружения, сложности при выводе из эксплуатации и рекультивации; до 75% всех расходов приходится на эксплуатацию, а экономия на этапе проектирования приводит к удорожанию реконфигурации в будущем; недостаточная транспортная инфраструктура увеличивает издержки; действующие нормы мешают внедрять инновации.

4. Вывод из эксплуатации текстильных предприятий – сложный, дорогостоящий и длительный процесс. Он включает: экологическую рекультивацию и утилизацию опасных отходов; демонтаж оборудования с учетом безопасности; решение юридических и имущественных вопросов; социальную поддержку работников и местных сообществ. В Ивановской области этот этап часто затягивается, превращаясь в "руинированное забвение" из-за экономической нецелесообразности, правовой неопределенности и экологического бремени.

5. Заброшенные фабрики становятся зонами социального неблагополучия, ухудшают городскую среду, стирают промышленную идентичность и создают барьеры для развития городов. Однако при системном подходе такие территории могут быть преобразованы в новые общественные, жилые или креативные пространства.

6. Рекомендации: необходим системный подход к проектированию, эксплуатации и выводу из эксплуатации объектов текстильной промышленности; важно внедрять гибкие архитектурные и инженерные решения, учитывать экологические требования на всех этапах; для успешного редевелопмента требуется сочетание государственной поддержки, частных инвестиций и современных подходов к управлению промышленным наследием.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Румянцева В.Е., Красильников И.В., Гальцев А.А. и др.* Управление производственной безопасностью на протяжении жизненного цикла строительных объектов текстильной отрасли при воздействии грибковых микроорганизмов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. №1(415). С. 245...257.

2. *Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В.* Эксплуатационная безопасность кирпичных наружных стен предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 201…208.

3. *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 высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 69…78.

4. *Оборин М.С.* Перспективы рыночной интеграции предприятий текстильной промышленности России // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 58…62.

5. *Радько С.Г., Пришляк Е.А., Дембицкий С.Г.* Организационно-экономический механизм функционирования отрасли и приоритеты промышленного развития // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 5(413). С. 25…32.

6. *Федосов С.В., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Овчинников А.Н.* Особенности организационной структуры на этапах жизненного цикла строительного проекта // Строительное производство. 2023. №3. С. 63…68.

7. *Барзыгин Е.А., Опарина Л.А., Огурцов В.А. и др.* Формирование структуры службы заказчика текстильных предприятий для строительства новых мощностей при одновременной эксплуатации действующих // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1 (415). С. 36…44.

8. *Опарина Л.А., Гневанов М.В.* Разработка концептуальной схемы организации ремонтно-строительных работ как важный элемент управления жизненным циклом зданий // Строительной производство. 2024. №2 (49). С. 45…51.

9. *Король Е.А., Дудина А.Г., Петросян Р.С., Нармания Б.Е.* Эксплуатационная технологичность производственных зданий предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6 (414). С. 264…271.

10. *Al-Nuaimi S.N.A., Jasim I.O., Mirzaeva A. et al.* Legal perspectives on corporate environmental responsibility in the textile industry // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 2(416). С. 275...283.

11. *Latif N., Noaman M.S., Abdykadyrov S. et al.* Ethical challenges in global textile business expansion // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 3(417). С. 310...318.

12. *Филатов В.В., Мишаков В.Ю., Коршик Т.С. и др.* Современные проблемы управления изменениями в проекте стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 12…22.

13. *Травуш В.И., Гурьев В.В., Дмитриев А.Н. и др.* О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 121…133.

14. *Федосов С.В., Лапидус А.А., Петрухин А.Б., Нармания Б.Е.* Организационно-технологические принципы мониторинга состояния здания на этапе эксплуатации жизненного цикла // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, № 1. С. 128…137.

15. *Опарина Л.А., Гневанов М.В., Огурцов В.А. и др.* Цифровизация планирования ремонтно-строительных работ на предприятиях текстильной промышленности: разработка информационной системы на основе классификатора дефектов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2026. №1(421). С. 214...221.

REFERENCES

1. *Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Galtsev A.A. etc.* Industrial safety management during the life cycle of textile industry construction facilities under the influence of fungal microorganisms // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. No. 1(415). Pp. 245...257.

2. *Korol E.A., Kustikova Yu.O., Shenbereva A.V.* Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3 (405). Pp. 201…208.

3. *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 Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 2 (404). Pp. 69…78.

4. *Oborin M.S.* Prospects for market integration of Russian textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2(404). Pp. 58...62.

5. *Radko S.G., Prishlyak E.A., Dembitsky S.G.* The organizational and economic mechanism of the branch production and the priorities of industrial development // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 5(413). Pp. 25...32.

6. *Fedosov S.V., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N., Ovchinnikov A.N.* Peculiarities of the organizational structure at the stages of the life cycle of a construction project // Construction production. 2023. №3. S. 63...68.

7. *Barzygin E.A., Oparina L.A., Ogurtsov V.A. et al.* Formation of customer service structure of textile enterprises for the construction of new capacities with simultaneous operation of the existing ones // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 1 (415). Pp. 36...44.

8. *Oparina L.A., Gnevanov M.V.* Development of a conceptual scheme for organizing repair and construction work as an important element of building life cycle management // Construction production. 2024. №2 (49). Pp. 45...51.

9. *Korol E.A., Dudina A.G., Petrosyan R.S., Narmania B.E.* Operational manufacturability of industrial buildings of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 6 (414). Pp. 264...271.

10. *Al-Nuaimi S.N.A., Jasim I.O., Mirzaeva A. et al.* Legal perspectives on corporate environmental responsibility in the textile industry // Izvestiya Vysshikh

Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 2(416). Pp. 275...283.

11. *Latif N., Noaman M.S., Abdykadyrov S. et al.* Ethical challenges in global textile business expansion // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 3(417). Pp. 310...318.

12. *Filatov V.V., Mishakov V.Yu., Korshik T.S. et al.* Modern problems of change management in the draft strategy for the development of light industry in the Russian Federation for the period up to 2025 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 1(403). Pp. 12...22.

13. *Travush V.I., Guryev V.V., Dmitriev A.N. et al.* On the concept of development of the regulatory and technical base of construction facilities during their operation // Academia. Architecture and construction. 2021. № 1. S. 121...133.

14. *Fedosov S.V., Lapidus A.A., Petrukhin A.B., Narmania B.E.* Organizational and technological principles for monitoring the state of the building at the stage of operation of the life cycle // Bulletin of MGSU. 2024. Vol. 19. № 1. S. 128…137.

15. *Oparina L.A., Gnevanov M.V., Ogurtsov V.A. et al.* Digitalization of repair and construction planning at textile industry enterprises: development of information system based on defect classifier // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2026. №1(421). Pp. 214...221.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства ИВГПУ. Поступила 30.04.26.

УДК 657:658
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_146

DEVELOPMENT OF NON-FINANCIAL REPORTING ASSURANCE AS A FACTOR IN ENHANCING THE COMPETITIVENESS OF CORPORATE STRUCTURES

РАЗВИТИЕ ЗАВЕРЕНИЯ НЕФИНАНСОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СТРУКТУР

I.O. IGNATOVA

И.О. ИГНАТОВА

(MGIMO University)

(МГИМО МИД России)

E-mail: i.o.ignatova@mail.ru

In the contemporary world, there are increasing requirements from users of corporate reporting for its content and reliability. This makes organizations compile and publish not only traditional reporting that contains financial data, but also statements that reveal non-financial information on the company's activities. As a result, the practice of the independent external verification of non-financial reporting carried out by specialists of audit companies, known as assurance, is becoming more and more widespread and demanded. The procedure for verifying non-financial reporting could make a significant contribution to developing enterprises of the textile and light industry, where issues of resource conservation, waste recycling and employee working conditions are at the center of public and regulatory attention. This article discloses the role of non-financial reporting assurance for organizations as well as its impact on the competitiveness of corporate structures. The author examines in detail the process of the evolution of regulatory documents governing the procedure for verifying non-financial reporting and conducts a detailed analysis of relevant international standards. Based on the performed research, it has been concluded that the International Auditing and Assurance Standards Board has made progress in regulating the process of non-financial reporting assurance which is

confirmed by the issuance of a separate international standard dedicated to the procedure for the comprehensive verification of non-financial statements. This event will contribute to increasing the level of stakeholders' trust in non-financial reporting of enterprises that have been verified by specialists of audit companies and, consequently, to enhancing the competitiveness of such corporate structures.

В современном мире наблюдается рост требований пользователей корпоративной отчетности в отношении ее содержания и надежности. Это приводит к тому, что организации формируют и публикуют не только традиционную отчетность, содержащую финансовые данные, но и отчетность, раскрывающую нефинансовую информацию о деятельности компании. В результате все более распространенной и востребованной становится практика независимой внешней проверки нефинансовой отчетности, проводимой специалистами аудиторских компаний, – заверение. Процедура верификации нефинансовой отчетности может внести существенный вклад в развитие предприятий текстильной и легкой промышленности, где вопросы ресурсосбережения, переработки отходов и условий труда сотрудников находятся в центре внимания общественности и регуляторов. В данной статье раскрыта роль заверения нефинансовой отчетности для организаций, а также ее влияние на конкурентоспособность корпоративных структур. Автором детально рассмотрен процесс эволюции нормативных документов, регулирующих порядок проверки нефинансовой отчетности, и проведен подробный анализ соответствующих международных стандартов. На основе выполненного исследования сформулирован вывод о том, что Совет по международным стандартам аудита и заданий, обеспечивающих уверенность, достиг прогресса в области регламентации процедуры заверения нефинансовой отчетности, который подтверждается выпуском отдельного международного стандарта, посвященного процессу комплексной верификации нефинансовой отчетности. Это событие будет способствовать росту уровня доверия стейкхолдеров к нефинансовой отчетности предприятий, заверенной специалистами аудиторских компаний, и, как следствие, повышению конкурентоспособности таких корпоративных структур.

Keywords: sustainable development, investment attractiveness, strategic management, non-financial reporting, stakeholders, integrated reporting, non-financial reporting assurance, International Auditing and Assurance Standards Board, corporate social responsibility, competitiveness of corporate structures.

Ключевые слова: устойчивое развитие, инвестиционная привлекательность, стратегическое управление, нефинансовая отчетность, стейкхолдеры, интегрированная отчетность, заверение нефинансовой отчетности, Совет по международным стандартам аудита и заданий, обеспечивающих уверенность, корпоративная социальная ответственность, конкурентоспособность корпоративных структур.

Currently, users of corporate reporting are placing increasing demands on it in all countries of the world. This trend is due to global uncertainty and volatility as well as the implementation of the concept of sustainable development. In this context, traditional financial reporting, which focuses exclusively on the financial performance of an organization in the

past, does not provide sufficient information to assess the long-term investment attractiveness and sustainability of companies.

To date, none of the existing Russian textile enterprises is public and, moreover, none of them is a joint-stock company. All of them are 100% private, non-public organizations, and in fact their interest in non-financial reporting is very limited, except for some specific contractual requirements from clients (B2B or B2G), mainly related to the application of quality management standards (for instance, ISO 9001:2015 'Quality Management Systems – Requirements'), but most of these reports are non-public and are provided as part of the certification mechanism.

For enterprises of the textile industry operating in a highly competitive as well as ethically and environmentally sensitive market, non-financial reporting could become a strategic risk management tool in the future.

The modern economic paradigm shifts the focus from short-term profit maximization to creating long-term value for all stakeholders. The concept of sustainable development is becoming an integral part of strategic management since they are non-financial factors, such as environmental risks, social responsibility and corporate governance quality, that increasingly determine an organization's ability to adapt to external shocks and ensure sustained growth [1; 2].

However, as to enterprises of the textile industry, there are currently no sustainable solutions in the field of circular technologies in the global market. This is confirmed by the consensus of global industry experts [3]. The textile industry now demonstrates a very low level of progress in the field of sustainable development and circular production. For example, the share of the use of cyclical materials in the textile industry is only 0.4% (as opposed to 40% in the pulp and paper industry, etc.) of the total turnover of raw materials, and technological progress is very slow. Thus, due to the lack of real technical capabilities, the textile industry has very limited interest in sustainable development tools, including non-financial reporting. The exception is organizations registered in the EU, where the disclosure of non-financial information is mandatory for corporate structures.

Representatives of the global investment community are interested in obtaining not only financial but also non-financial data that characterizes the functioning of companies. This stimulates the transformation of corporate reporting.

It is necessary to note that today the majority of enterprises of the textile industry globally are not part of the public or stock market segment. Instead, they are primarily operated by specialized non-public investors who hold significant stakes in private or family-owned companies. The textile industry has very limited connections with the global investment community.

In the contemporary world, in addition to financial reporting, there is an active spread of non-financial statements which disclose information on the environmental, social and governance aspects of an organization's activities. There is also a growing popularity of integrated reporting that harmoniously combines financial and non-financial data on an enterprise's activities, giving insights into its ability to create and maintain value in both the short and long term [4].

Nowadays, a company's ability to provide comprehensive and transparent reporting on its environmental, social and governance activities is becoming not just an element of its image but a crucial competitive advantage and a significant factor in reducing its capital costs.

Despite the fact that non-financial reporting has not yet been widely adopted by enterprises of the textile industry, its implementation into accounting practices is crucial for these organizations due to their high resource consumption and considerable environmental impact. For textile companies, reporting containing information on sustainable development serves as a strategic tool for risk management and enhancing loyalty from consumers, investors and society as a whole.

Examples of enterprises of the textile industry currently compiling non-financial statements include Klopman International, an Italian company engaged in the production of polyester and cotton fabrics for special, protective and casual clothing; Milliken & Company, a large American organization specializing in manufacturing textiles; Textil Santanderina, a Spanish fabric producer.

To ensure the reliability of financial statements and increase the level of stakeholders' trust, the procedure called an audit is carried out in relation to these statements. Compared to other sectors of the economy, the global textile industry is characterized by a low degree of adopting this procedure. This is due to the dominance of non-public organizations in the textile industry.

A key distinguishing feature of non-financial reporting from financial one is the fact that it contains not only quantitative information but also qualitative data which is even easier to manipulate than numerical indicators. Therefore, the practice of independent external verification – assurance – is becoming increasingly widespread regarding non-financial and integrated reporting [5; 6].

Enterprises of the light industry, such as Miroglio Group, an Italian women's clothing manufacturer, as well as Weiqiao Textile Company Limited, a leading Chinese enterprise producing cotton buckles and fabrics, turn to audit companies for the independent external verification of their non-financial reports. This is confirmed by publicly available reports on the assurance of such reports prepared by specialists of audit organizations.

The importance of non-financial reporting verification is outlined in Russian regulatory legal acts, such as the Concept of Public Non-Financial Reporting (2017), Recommendations for Public Joint-Stock Companies on the Disclosure of Non-Financial Information Pertaining to Their Activities (2021, Bank of Russia), Guidelines for the Preparation of Sustainable Development Reporting (2023, Ministry of Economic Development of the Russian Federation), the Business Public Capital Standard (2026, Ministry of Economic Development of the Russian Federation).

In Russia, there is currently no mandatory requirement for checking non-financial statements of textile companies. However, the independent external verification of non-financial reporting is an important factor for strengthening trust among a wide range of stakeholders, which is the foundation for enhancing the enterprise's competitiveness in the market.

The independent external verification of non-financial reporting serves as a factor in strengthening trust in it on the part of representatives of the investment community and other stakeholders, which is the basis for increasing the company's competitiveness in the market.

The procedure for assuring non-financial statements is carried out by representatives of audit organizations that have extensive experience in verifying financial reporting. Today, many large audit companies have special departments engaged in validating non-financial statements.

In most countries of the world, including Russia, auditors follow international standards developed by the International Auditing and Assurance Standards Board when verifying both financial and non-financial statements. This organization is a part of the International Federation of Accountants.

Nowadays, in Russia non-financial reporting assurance services are not in high demand among enterprises of the textile industry. This is largely due to their relatively closed information policy and the non-disclosure of their internal data to prevent its acquisition by competitors.

Until recently, there were no regulatory documents specifically addressing the comprehensive validation of non-financial statements among international standards developed by the International Auditing and Assurance Standards Board. As a result, specialists conducting the verification of such statements were guided by a range of documents (Fig 1).

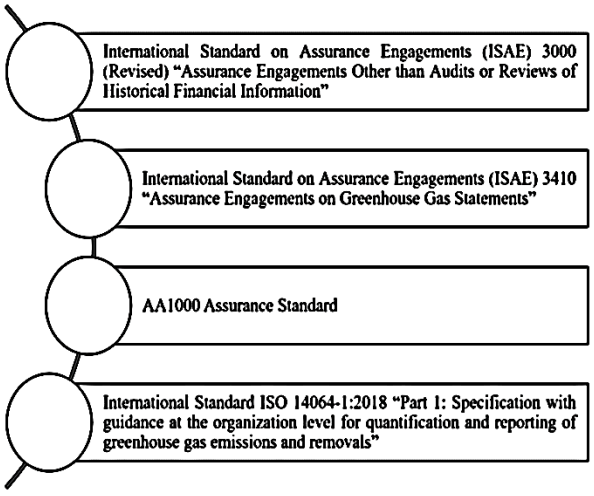


Fig. 1

International Standard on Assurance Engagements (ISAE) 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information” and International Standard on Assurance Engagements (ISAE) 3410 “Assurance Engagements on Greenhouse Gas Statement” were issued by the International Auditing and Assurance Standards Board.

International Standard on Assurance Engagements 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information” is a standard for performing any type of assurance other than financial audits and reviews of historical financial information. The subject of assurance is agreed upon between the practitioner and the client and might include sustainability reports, ESG activities, other activities, systems and processes (internal control, IT systems (for instance, testing their efficiency)), etc. [7].

International Standard on Assurance Engagements 3410 “Assurance Engagements on Greenhouse Gas Statement” regulates the procedure for verifying the reports of organizations on their emissions [8].

The AA1000AS v3 Assurance Standard was issued by AccountAbility, an international consulting company specializing in the development of standards and consulting services in the fields of sustainable development, corporate social responsibility and non-financial reporting. This document serves as a tool for verifying information on an enterprise’s sustainable development. It provides a comprehensive view of the practice of managing an organization’s sustainable development, its performance and reporting. This standard focuses not only on confirming the reliability of data but also on analyzing processes that are key to performing assurance engagements, based on the following principles: inclusivity, materiality, responsiveness and impact.

International Standard on Assurance Engagements 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information” and the AA1000AS v3 Assurance Standard are complementary documents that could be used together when conducting non-financial reporting verification. Methodological approaches outlined in these standards are not contradictory.

International Standard ISO 14064-1:2018 “Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals” was developed by the International Organization for Standardization. It establishes the procedure for verifying the calculation of greenhouse gas emission and absorption volumes as well as contains principles that should guide a specialist of an audit organization when determining materiality and confidence levels.

In compliance with information of the International Federation of Accountants and the Association of International Certified Professional Accountants, in Russia, International Standard on Assurance Engagements 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information” is used in 80% of non-financial reporting verification cases. Globally, 88% of audit companies apply this document.

In addition to the above-mentioned standards, international organizations have prepared and issued recommendatory documents that are used by specialists of audit companies during the validation of non-financial statements (Fig. 2).

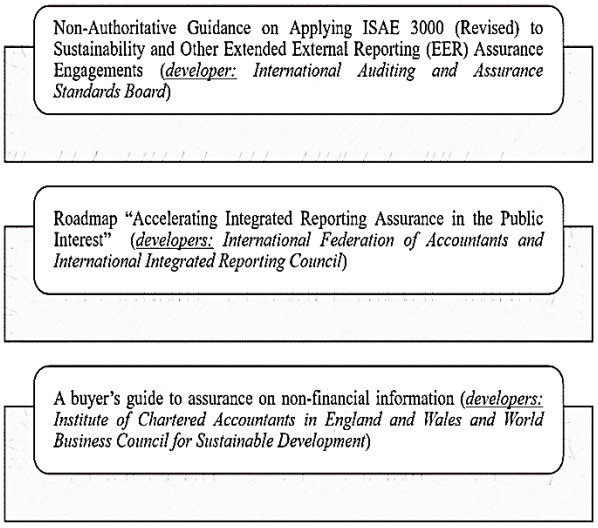


Fig. 2

An important step in the development of the legal regulation of assuring non-financial reporting is the approval of International Standard on Sustainability Assurance (ISSA)

5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements” on September 20, 2024 by the International Auditing and Assurance Standards Board. This document will be applied to assurance engagements on sustainability information for reporting periods beginning on December 15, 2026. The early adoption of this standard is encouraged.

International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements” is the first comprehensive international document dedicated to sustainability assurance. It allows to express reasonable, limited or combined confidence in information on an enterprise’s sustainable development. This document is based on existing standards developed by the International Auditing and Assurance Standards Board, in particular International Standard on Assurance Engagements 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information”, and is designed to be flexible enough to cover a wide range of information on sustainable development reported by organizations: from climate risks and emission data to social indicators and governance metrics [9; 10].

From reporting periods beginning on December 15, 2026, International Standard on Assurance Engagements 3000 (Revised) “Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information” will be applied to engagements other than audits and reviews of historical financial information as well as other than engagements regarding information in the field of sustainable development.

In connection with the approval of International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements”, the International Auditing and Assurance Standards Board endorsed the repeal of International Standard on Assurance Engagements 3410 “Assurance Engagements on Greenhouse Gas Statement” from the effective date of the new standard.

The adoption of International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements” is a significant event in the work of the International Auditing and Assurance Standards Board which aims to support the growing need for high-quality expressions of limited or reasonable confidence in information on a company’s sustainable development. It will contribute to increasing the value of non-financial statements and trust in them at the global level [11].

International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements” is applicable to all forms of non-financial reporting. It enables to ensure confidence in information on an organization’s sustainable development prepared in accordance with various frameworks used worldwide, including IFRS S1 “General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information” and IFRS S2 “Climate-related Disclosures” developed by the International Sustainability Standards Board.

In November 2025, in order to support the implementation of International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements”, the International Auditing and Assurance Standards Board published a set of illustrative practitioners’ sustainability assurance reports.

Although International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements” contains four examples of reports that demonstrate the application of the standard’s core requirements, the set of examples includes eight model assurance reports to help practitioners use the standard under real conditions in various types of engagements (Fig. 3).

In January 2025, the International Ethics Standards Board for Accountants published the International Ethics Standards for Sustainability Assurance. This document, along with International Standard on Sustainability Assurance 5000 “General Requirements Sustainability Assurance Engagements”, will be effective for reporting periods beginning on December 15, 2026.

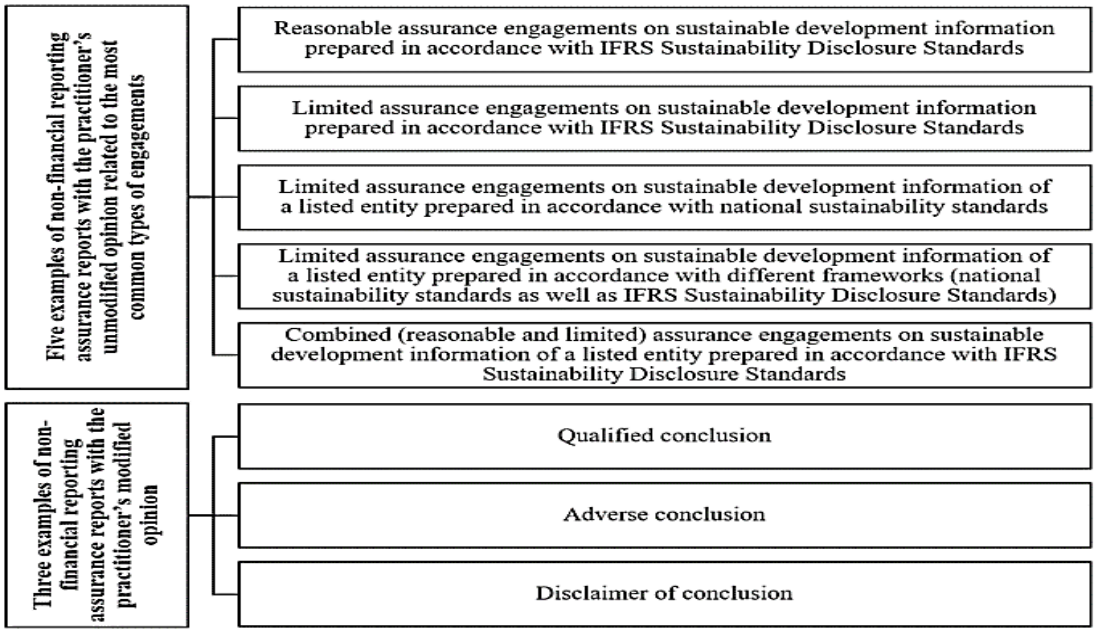


Fig. 3

In early 2025, the International Auditing and Assurance Standards Board and the International Ethics Standards Board for Accountants announced that they had begun to work together to promote the implementation of their new standards aimed at increasing trust and transparency in the field of non-financial reporting of companies operating in various sectors of the economy, including enterprises of the textile industry. These structures will provide continuous support to audit companies through webinars, the preparation of different recommendations as well as the ongoing monitoring of the implementation of these standards.

Currently, enterprises of the textile and light industry, unlike organizations of other sectors of the economy, have few incentives to incorporate non-financial reporting and its assurance. In order to promote the dissemination of non-financial reporting and its verification among these companies, it is necessary to develop and implement government measures that facilitate this process. These measures could include tax incentives, subsidies and loans on favorable terms, etc.

CONCLUSIONS

The scope of non-financial reporting dissemination is growing year after year around the globe. Therefore, there is the increasing demand for the assurance of information on an organization's sustainable development. However, both Russian and foreign enterprises of the textile industry are still lagging behind in this area.

The issue of International Standard on Sustainability Assurance 5000 "General Requirements Sustainability Assurance Engagements" by the International Auditing and Assurance Standards Board marks a turning point in ensuring the reliability of data on a company's sustainable development. This document is the first global standard that comprehensively regulates the process of assuring non-financial statements.

The application of International Standard on Sustainability Assurance 5000 "General Requirements Sustainability Assurance Engagements" will provide a solid basis for ensuring the credibility of information on an organization's sustainable development. This document will help audit companies to meet the increasing demand for the transparency of non-financial data as well as the needs of investors and other stakeholders for its reliability.

As a result, this will lead to an increase in the level of stakeholders' trust in non-financial reporting of the organization which has been assured by specialists of an audit company. Consequently, such corporate structures will become more competitive in the market.

As to enterprises of the textile industry, most of them, being private, non-public organizations, practically do not use the concept of stakeholders in their activities. This is because these companies prefer to rely on the mechanism of corporate commercial secrecy to protect their products, technological know-how as well as customer and supplier databases in a highly competitive and uncertain external environment [12].

However, if specific measures are implemented at the state level to promote non-financial reporting among enterprises of the textile and light industry and improve its quality, it can be assumed that these organizations will show greater interest in such reporting. This will undoubtedly have a positive impact on their competitiveness and will also enhance the efficiency of their activities.

R E F E R E N C E S

1. *Zelentsov D.A., Vetrova I.F.* Analysis of Russian and Foreign Approaches to the Formation of a Regulatory Framework for Non-financial Reporting Assurance // Economic Problems and Legal Practice. 2025. Vol. 21, № 1. P. 218…223.

2. *Pshmakhova M.I., Osipova R.G.* Formation of models of non-financial reporting verification depending on the types of its certification // Eurasian Space: Economics, Law, Society. 2023. № 3. P. 56…64.

3. *Ignatova I.O.* Concept of categorizing an organization's capital as a basis for the formation of integrated reporting // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 5 (419). P. 63…70.

4. *Belgorodskii V.S., Dembitsky S.G., Silakov A.V. et al.* Economic issues of the textile industry in the mirrors of bibliographic databases // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № (399). P. 5…17.

5. *Dal Nial H., Azmi A., Zakaria Z.* The impact of sustainability assurance and personality characteristics on investment decision-making in social responsibility investing // Advanced International Journal of Business, Entrepreneurship and SMEs. 2023. Vol. 5, № 15. P. 17…30.

6. *Sierra García L., Bollas-Araya H.M., García Benau M.A.* Sustainable development goals and assurance of non-financial information reporting in Spain // Sustainability Accounting, Management and Policy Journal. 2022. Vol. 13, № 4. P. 878…898.

7. *Bogataya I.N., Evstafyeva E.M.* Features of the regulatory framework of non-financial reporting confirmation (assurance) // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2022. № 8-1. P. 24…31.

8. *Serebryakova T.Yu.* Non-Financial Reporting and Compliance Control // Accounting. Analysis. Auditing. 2023. Vol. 10, № 3. P. 33…44.

9. *Muzira D.R., Masara E.* Opportunities and Challenges of Assurance on Non-Financial Reporting: Perspective Prior to Issa 5000 // International Journal of Auditing and Accounting Studies. 2025. Vol. 7, № 1. P. 93…109.

10. *Kamp-Roelands N.* ISSA 5000: key features of the International Sustainability Assurance Standard // Maandblad voor Accountancy en Bedrijfseconomie. 2025. Vol. 99. № 2. P. 85…96.

11. *Malinovskaya N.V.* Developing approaches to the sustainability information assurance // International Accounting. 2024. Vol. 27, № 5 (515). P. 486…498.

12. *Yussuf A.A., Savelev I.I., Volostnov N.S.* Problems of the textile industry enterprises transition on the trajectory of sustainable development in the conditions of volatility and uncertainty // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 3 (399). P. 18…25.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Зеленцов Д.А., Ветрова И.Ф.* Анализ российского и зарубежного подхода к формированию нормативной базы заверения нефинансовой отчетности // Проблемы экономики и юридической практики. 2025. Т. 21, № 1. С. 218…223.

2. *Пшмахова М.И., Осипова Р.Г.* Формирование моделей верификации нефинансовой отчетности в зависимости от видов ее заверения // Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2023. № 3. С. 56…64.

3. *Ignatova I.O.* Concept of categorizing an organization's capital as a basis for the formation of integrated reporting // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5 (419). P. 63…70.

4. *Белгородский В.С., Дембицкий С.Г., Силаков А.В. и др.* Экономическая проблематика текстильной промышленности в зеркале библиографических баз данных // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3 (399). С. 5…17.

5. *Dal Nial H., Azmi A., Zakaria Z.* The impact of sustainability assurance and personality characteristics on investment decision-making in social responsibility investing // Advanced International Journal of Business, Entrepreneurship and SMEs. 2023. Vol. 5, № 15. P. 17…30.

6. *Sierra García L., Bollas-Araya H.M., García Benau M.A.* Sustainable development goals and assurance of non-financial information reporting in Spain // Sustainability Accounting, Management and Policy Journal. 2022. Vol. 13, № 4. P. 878…898.

7. *Богатая И.Н., Евстафьева Е.М.* Особенности нормативной базы подтверждения (заверения) нефинансовой отчетности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 8-1. С. 24…31.

8. *Серебрякова Т.Ю.* Нефинансовая отчетность и контроль соответствия // Учет. Анализ. Аудит. 2023. Т. 10, № 3. С. 33…44.

9. *Muzira D.R., Masara E.* Opportunities and Challenges of Assurance on Non-Financial Reporting: Perspective Prior to Issa 5000 // International Journal of Auditing and Accounting Studies. 2025. Vol. 7, № 1. P. 93…109.

10. *Kamp-Roelands N.* ISSA 5000: key features of the International Sustainability Assurance Standard // Maandblad voor Accountancy en Bedrijfseconomie. 2025. Vol. 99, № 2. P. 85…96.

11. *Малиновская Н.В.* Развитие подходов к подтверждению информации в области устойчивого развития // Международный бухгалтерский учет. 2024. Т. 27, № 5 (515). С. 486…498.

12. *Юссуф А.А., Савельев И.И., Волостнов Н.С.* Проблемы перехода предприятий текстильной промышленности на траекторию устойчивого развития в условиях волатильности и неопределенности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3 (399). С. 18…25.

Рекомендована кафедрой учета, статистики и аудита МГИМО МИД России. Поступила 15.04.26.

УДК 658
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_154

TRANSFORMATION OF APPROACHES TO MEASURING THE PERFORMANCE OF TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДХОДОВ К ИЗМЕРЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

I.O. IGNATOVA, L.V. SHMAROVA

И.О. ИГНАТОВА, Л.В. ШМАРОВА

(MGIMO University)

(МГИМО МИД России)

E-mail: i.o.ignatova@mail.ru, lchmarova@mail.ru

The main requirement for any enterprise of the textile industry is its effectiveness. In an increasingly competitive environment, insufficient efficiency is a major cause of business failure. Recognizing this challenge, economists should continuously enhance methods used to assess the performance of commercial organizations.

The authors' goal is to analyze the process of transforming approaches to measuring the efficiency of textile industry enterprises and characterize the most popular criteria for evaluating it.

The primary scientific method used in the study is the historical approach which involves examining the evolution of business performance indicators over a nearly 100-year period. The authors have collected, systematized and chronologically reviewed historical data related to the transformation of approaches to measuring the performance of textile industry enterprises, conducted a retrospective analysis of this process and identified the main observed trends.

The object of the study is the performance of commercial structures, the subject of the study is the evolution of methods for assessing business success.

Since the 1920s, when national accounting standards were established in almost all industrialized countries, financial analysts have been searching for criteria that would allow them to accurately assess business performance. Nowadays, Russian and Western analysts apply various methods for this purpose, and their choice is largely determined by the objectives they have set for themselves, the available data

and the specific characteristics of the organization being evaluated.

The authors conclude that each of the methods for measuring business performance has its advantages, but it also has certain disadvantages. A thorough approach to selecting indicators used by the analyst to assess the effectiveness of the organization's operations in each specific case could help to mitigate these drawbacks and achieve a synergistic effect through their combined application.

Главным требованием, предъявляемым к любому предприятию текстильной промышленности, является его результативность. В условиях существенного усиления уровня конкурентной борьбы недостаточная эффективность деятельности является основной причиной банкротства предприятий. Понимание этой проблемы ставит экономистов перед необходимостью постоянного совершенствования методов оценки результативности деятельности коммерческих организаций.

Целью авторов является проведение анализа процесса трансформации подходов к измерению эффективности функционирования предприятий текстильной промышленности и характеристика наиболее популярных на сегодняшний день критериев ее оценки.

Основным научным методом, используемым в ходе проведения исследования, является исторический метод, заключающийся в изучении эволюции показателей оценки результативности бизнеса на протяжении почти 100-летнего периода времени. Авторами собраны, систематизированы и рассмотрены в хронологической последовательности исторические данные, касающиеся трансформации подходов к измерению эффективности деятельности текстильных компаний, проведен ретроспективный анализ этого процесса, выявлены основные наблюдаемые тенденции.

Объектом исследования является результативность деятельности коммерческих структур, предметом исследования – эволюция методов оценки успешности бизнеса.

Начиная с 20-х годов прошлого века, когда практически во всех промышленно развитых странах были сформированы национальные учетные стандарты, финансовые аналитики не прекращают поиск критериев, которые позволили бы наиболее точно оценить эффективность ведения бизнеса. Сегодня российскими и западными аналитиками для этой цели используются различные методы, выбор которых во многом определяется задачами, которые они перед собой ставят, имеющимися исходными данными, а также спецификой, присущей оцениваемой организации.

Авторы приходят к выводу, что каждый из методов измерения результативности бизнеса имеет свои преимущества, но и не лишен определенных недостатков. Тщательный подход к отбору показателей, используемых аналитиком для оценки эффективности деятельности организации в каждом конкретном случае, позволяет нейтрализовать эти недостатки и достичь синергетического эффекта за счет их комбинированного применения.

Keywords: organization's efficiency, indicators of financial reporting, market indicators for assessing corporate efficiency, DuPont model, return, cash flows, economic value added, balanced scorecard (BSC).

Ключевые слова: эффективность деятельности организации, показатели финансовой отчетности, рыночные показатели оценки корпоративной эф-

фективности, модель Дюпона, доходность, денежные потоки, экономическая добавленная стоимость, сбалансированная система показателей (BSC).

Attracting investment plays a key role in the activities of Russian enterprises of the textile industry [1]. This is due to the high level of competition with foreign manufacturers as well as the need to quickly and frequently respond to changing consumer demand for their products. All this encourages textile companies to regularly update and modernize their production facilities, which is impossible without significant investments in new equipment, technologies and the development of innovative materials.

The assessment of enterprise performance has a crucial impact on making investment decisions. For many decades, analysts have been trying to develop metrics that could most accurately measure the performance of organizations based on the available data and goals [2].

Historically, the first criteria for evaluating business efficiency appeared in the United States in the 1920s, when analysts at the DuPont corporation developed a famous model that allowed them to analyze the factors that affect return on equity. The main idea behind the model was to decompose return on equity, a key corporate performance indicator, into individual factors (multipliers) using the chain substitution method, which allowed to evaluate each factor's contribution to achieving the ultimate goal of increasing ROE [3; 4].

The multipliers used were return on sales (net profit margin), the turnover of assets and one of the options of financial leverage. The formula of ROE, which enables to assess the impact of these multipliers, is presented below (1):

$$ROE = \frac{Net\ Income}{Income} \times \frac{Income}{Total\ Assets} \times \frac{Total\ Assets}{Equity} \quad (1)$$

Impact of business margins | Impact of the organization's asset turnover | Impact of the organization's capital structure

In the presented model, depending on the purpose of the analysis, revenue (income from the company's main activities) is frequently used instead of income.

The proposed model has an undeniable advantage in terms of the availability of the initial data for calculations (all information is directly included in the financial reports of organizations), the simplicity of calculations and the visibility of the results obtained. For this reason, later the model of the DuPont Corporation has been distributed in all countries with market economies and to this day has a huge number of its admirers.

The further development of the method was based on a more detailed decomposition of the factors. For instance, today you might find calculations that enable you to additionally assess the impact of the tax burden and interest payments on return on equity (the five-factor DuPont model). In this case, the 'net profit margin' multiplier is further decomposed into 3 factors (2):

$$\frac{Net\ Income}{Income} = \frac{Net\ Income}{EBT} \times \frac{EBT}{EBIT} \times \frac{EBIT}{Income} \quad (2)$$

Impact of the tax burden | Impact of interest payments

Currently, investors and analysts sometimes use extended versions of the above-mentioned classic DuPont models, such as the seven-factor model or eleven-factor model, which allow them to additionally assess the impact of various factors on return on equity: for example, depreciation methods used by the organization, its dividend policy, inflation expectations and others.

Despite all the obvious advantages of the DuPont model, it has its opponents whose main argument is that the evaluation of business performance in this case is based solely on financial reporting indicators which, in their opinion, have significant drawbacks.

Firstly, these metrics considerably depend on the accounting standard used. For instance, two accounting standards (Russian Accounting Standards (RAS) and International Financial Reporting Standards (IFRS)) are currently in effect in the Russian Federation. They have different objectives and methods applied to generate reporting indicators. As a result, the same metric constructed under each standard may have a different numerical value. This sit-

uation (the simultaneous application of different accounting standards by the same company) is typical not only for Russian organizations but for almost all European ones.

Secondly, the values of indicators obtained even within the framework of one accounting standard could vary significantly, depending on the accounting policy used by a certain company. In particular, even such a strictly regulated accounting system as RAS allows the preparer of financial statements to choose the methods used to calculate financial indicators, which results in different values for the same metric, depending on the selected option. IFRS, compared to RAS, provides the preparer of financial statements even more flexibility in calculating financial reporting indicators.

Another argument raised by opponents of the DuPont model is a significant gap between the reported performance metrics of the organization and the market indicators of business efficiency.

Apart from that, critics of the DuPont model point out that the multipliers used in the formula are correlated with each other, which can ultimately lead to distorted estimates of return on equity.

However, in general, the DuPont model constitutes a universal tool that is still actively applied by enterprises of the textile industry to assess business performance, identify growth opportunities and increase investment attractiveness. For instance, Russian textile manufacturers such as Tchaikovsky Textiles and Yakovlevsky, as well as Mogotex, a Belarusian company which specializes in the production of fabrics and workwear, widely use modern financial analysis methods, including the DuPont model, to improve business efficiency [1; 5].

The same period (the 1920s) also saw the beginning of the application of return on investment (ROI) or return on capital employed (ROCE) as an indicator of business performance.

Initially, this metric was defined as the ratio of net income to the value of invested capital (3):

$$ROI = ROCE = \frac{Net\ Income \times 100\%}{Invested\ Capital\ (Capital\ Employed)} \quad (3)$$

The value of invested capital (capital employed) is the part of the capital that expects payment for its participation in the business, i.e. the company's equity expecting payment in the form of dividends as well as long-term and short-term borrowed capital minus free commercial debts expecting payment in the form of interest payments [6].

Today, when assessing return on investment, EBIT, rather than net income, is commonly used as an indicator to characterize return since it eliminates the influence of externally determined factors unrelated to profitability, such as the tax burden and interest payments. Therefore, the formula for calculating ROI is the following (4):

$$ROI = ROCE = \frac{EBIT \times 100\%}{Invested\ Capital\ (Capital\ Employed)} \quad (4)$$

The option of calculating return on investment based on EBITDA has become even more widely used (5):

$$ROI = ROCE = \frac{EBITDA \times 100\%}{Invested\ Capital\ (Capital\ Employed)} \quad (5)$$

In this case, in addition to abstracting from the impact of the level of tax payments and the cost of borrowed capital, analysts also eliminate the influence of the amount of the depreciation of non-current assets. This is due to the fact that, firstly, depreciation is a subjective value as it depends on the accounting policy applied by the organization, and secondly, this expense item is not related to cash flow. Thus, EBITDA, on the one hand, is formed in accordance with the accrual method and has all the relevant advantages (first of all, it is clearly linked to the reporting period), and on the other hand, it is as close as possible to the value of cash flow.

In the 1980s, RONA, i.e. return on net assets, became very popular (6):

$$RONA = \frac{EBIT \times 100\%}{Average\ Net\ Assets} \quad (6)$$

In this case, only interest-free liabilities are deducted from total assets to calculate the value of net assets. Mathematically, RONA is identical to ROI (ROCE) since invested capital

finances net assets and, consequently, they have the same absolute value. However, it is crucial to understand that the economic meaning of these indicators differs as assets, by their nature, have the potential to generate future economic benefits for the enterprise.

The advantages and drawbacks of ROI (ROCE) and RONA are similar to those inherent in the DuPont Corporation model, i.e. they are extremely simple and convenient for calculations, but are based only on financial reporting data, with all the consequences that entails.

Currently, ROI (ROCE) and RONA are actively applied by financial analysts to assess the efficiency of capital use by large textile enterprises [7; 8]. These indicators allow to compare the performance of different organizations within the industry as well as to justifying business attractiveness and assess the effectiveness of capital management.

In response to the growing gap between balance sheet and market indicators of business performance, in the 1970s analysts proposed new criteria for assessing the effectiveness of companies, including enterprises of the textile industry, based on stock market data. Metrics such as earnings per share (EPS) and the price-to-earnings ratio (P/E) gained popularity.

Earnings per share is calculated by dividing the organization's net income by the number of common shares outstanding [9]. This is one of the few indicators the calculation methodology of which is specified in a number of financial reporting standards due to the complexity of determining the average number of outstanding shares. Thus, the rules for calculating EPS and the requirement for its publication in annual reports are contained in both IFRS and RAS. However, a significant drawback of EPS is that it cannot be used to compare different companies as it is an absolute indicator and its value is influenced by factors such as the size of the organization and the degree of its capital dilution.

The P/E ratio, which is one of the main financial metrics used on the stock market to compare organizations based on their investment attractiveness and efficiency, is free from this disadvantage (7):

$$P/E = \frac{Market\ Share\ Price}{EPS} \quad (7)$$

This ratio shows how much investors are willing to pay for each unit of the enterprise's net income. Its normal values are at the level of 5-10-20. However, for market leaders and during mergers and acquisitions, the ratio could increase to 50-100.

A common drawback of indicators based on stock market data is that they are not applicable to non-public joint-stock companies and even less so to non-joint-stock forms of business. In addition, the organization's assessment in this case does not always reflect the actual performance of the business. And while the problems with financial reporting are at least well-known and understandable, the issues related to the subjectivity of market valuations are difficult to interpret.

The application of such estimates is complicated by the fact that market prices are constantly changing, so, in order to calculate indicators, it is necessary to have data on their dynamics over a period comparable to the period for which the data on the enterprise's net income value is available, which is usually a year. To obtain a meaningful indicator, the data on market prices should be averaged beforehand.

Later, in the 1990s, total shareholder return (TSR), a new criterion for assessing business performance based on stock market data, was developed. It is quite popular today (8):

$$TSR = \frac{(Ending\ Share\ Price - Beginning\ Share\ Price) + Dividend}{Beginning\ Share\ Price} \quad (8)$$

This metric reflects the fact that shareholders receive income not only in the form of dividends but also through the growth of the share price. Thus, young companies may not pay dividends at all, but this does not mean that their performance is so poor that shareholders do not receive income on their invested capital. In this case, their income is determined by the growth of the share price [10].

The main advantage of TSR is the ability to compare organizations that differ in size, industry, country affiliation, etc. Therefore, TSR is widely used nowadays.

However, opponents of the application of TSR point out that it cannot be applied to solve internal management problems. Firstly, TSR does not provide a complete answer to the question of how to influence shareholder return, but only reflects the assessment of the company's performance over the year from the perspective of the shareholder. Besides, it is not possible to employ TSR to evaluate the efficiency of the organization's certain departments.

In the contemporary world, investors and analysts regularly calculate the P/E ratio and TSR for large public companies whose shares are traded on stock exchanges. The majority of Russian textile enterprises are legally structured as limited liability companies or closed joint-stock companies. Therefore, it is not possible to calculate the P/E ratio and TSR for such organizations.

The 1990s were characterized by the emergence of fundamentally new approaches to evaluating business performance. Problems with the methodology for calculating financial indicators characterizing business performance, primarily various types of profits, as well as with the subjectivity of market assessments led analysts to turn to more objective metrics – the company's cash flows. This was also facilitated by the introduction of the cash flow statement, a form of financial reporting. During this period, HOLT Value Associates, an international consulting company, proposed a new approach to determining return on investment based on the assumption that the main goal of a business is to generate cash flows.

The calculation of the indicator proposed by the specialists of this company is quite complex. In its most simplified form, CFROI can be represented as the ratio of all the enterprise's cash flows generated by its assets over the entire period of the organization's existence to the amount of invested capital (total assets). Essentially, they are trying to calculate the final profitability of the business that is viewed as a single large investment project [11]. In a simplified form, it might be represented as (9):

$$CFROI = \frac{GCF + SV}{GI} \quad (9)$$

GCF is gross (total) cash flow generated by the company over the entire period of its existence. Its calculation includes:

- zero-period cash flow (cash outflow associated with the acquisition of assets);
- subsequent equal annually recurring cash inflows from operating activities determined using the indirect method on the basis of net income. In this case, non-recurring and extraordinary income and expenses are typically excluded from profit. The number of such inflows is defined based on the estimated economic life of assets (firstly, the economic life of the asset is calculated for each asset group (the asset's value is divided by the annual depreciation amount), and then the weighted average value is calculated based on the share of the asset's value).

SV (salvage value) is the liquidation value of the enterprise's assets which consists of its working capital and the value of non-depreciable assets (for example, land) since they are reimbursed upon business liquidation.

GI is gross (total) investment. In compliance with the proposed calculation method, gross investment refers to the company's total assets (TA) adjusted for the value of the depreciation of fixed assets and intangible assets (DA) minus interest-free current liabilities (CL) (10):

$$GI = TA + DA - Interest\text{-}Free\ CL \quad (10)$$

The resulting value of net assets should be adjusted for inflation, i.e. converted to current prices. This adjustment is highly subjective and reduces the value of the indicator.

As the calculation of CFROI is based on the assumption that cash flows are constant throughout the organization's existence and equal to the current operating cash flow, which is not entirely accurate, it is necessary to regularly recalculate this metric. In other words, it represents the internal rate of business profitability, assuming that the operating cash flow situation remains unchanged. It is obvious that the calculated CFROI value should not be overestimated. For instance, if at the time of calculation the internal profitability of the

business is 20%, it does not mean that by the end of the economic life of the company's assets it will not be 40% or 10%. The meaning of CFROI is that it at each point in time shows the profitability of the business considered as a large investment project.

The drawbacks of CFROI include the complexity of its calculation; subjectivity in determining the economic life of assets and inflation adjustments to their values; the unrealistic assumption that the cash flow generated by the organization's assets is stable over their economic life.

In the last decade of the past century, leading western consulting companies put forward a new idea which is that the main goal of any commercial organization is to achieve the maximum growth of its value. This led to the emergence of a whole group of value-based management (VBM) indicators, including:

- shareholder value added (SVA);
- cash value added (CVA);
- market value added (MVA);
- economic value added (EVA®) [12].

EVA® has become the most popular of the listed metrics. This widely publicized indicator was created and patented by Stern Stewart & Co. However, the concept of economic value added was first introduced by Alfred Marshall, who developed the theory of economic income.

The essence of the concept of economic value added is that the enterprise, by raising funds on the capital market, invests them in assets from which it expects an inflow of economic benefits [13]. However, financial resources are not attracted for free: shareholders expect dividends and an increase in the share price as payment (return on equity) and creditors expect interest income (return on debt). Therefore, the company should receive such a flow of economic benefits from the use of assets that it exceeds the required return on equity and debt (the cost of invested capital). This excess is the addition (increment) to its economic value (11):

$$EVA = Inflow\ of\ Economic\ Benefits - Return\ Required\ by\ Capital\ Owners \quad (11)$$

As an indicator reflecting the amount of economic benefits, it was proposed to use operating profit net of income tax since it characterizes the effectiveness of the enterprise's operations that are the goal of its creation.

Despite the fact that the value of income tax is affected not only by the operating result of the organization's functioning but also by the effect of other operations, when calculating the amount of economic benefits from the use of assets (for the purpose of determining EVA®), the value of income tax is deducted from operating profit as in this case it is necessary to obtain the metric that reflects the potentially generated operating effect of the business which would have been received by owners in the absence of borrowed financing.

The widespread application of EVA® is due to the fact that it demonstrates the actual amount of the increment generated by the business for its shareholders. The advantages of this indicator include the standardization of the approach to calculating economic profit for different companies and the ability to use it to compare the performance of organizations operating in different sectors of the economy. Furthermore, employing economic value added as a metric that is linked to the value of the company's management remuneration aligns with its long-term goals aimed at creating new value.

At the same time, EVA® has all the disadvantages described above which are related to calculating the indicator value based on financial reporting metrics.

The idea of decomposing the enterprise's strategic performance target into a level that is understandable to the organization's average employee led to the development of the balanced scorecard (BSC) concept in the late 20th century [14]. The need for specific indicators that align with the interests of various groups with different connections to the company was discussed as early as the 1970s, but this idea was finally formalized by R. S. Kaplan and D. P. Norton the American researchers.

In 1990, they studied the business performance assessment systems of 12 large corporations. The heads of many of these organizations expressed their desire to expand the system of indicators by including non-financial metrics [15]. In response to their requests, the scientists developed the concept of the bal-

anced scorecard which aims to align the interests of diverse groups such as company shareholders, consumers, business partners and creditors.

The BSC system should include goals allowing to improve the following areas: the organization's assessment from the perspective of its customers (customer aspect); the processes that provide it with exceptional competitive advantages (internal aspect); the internal state of the company (innovation and learning aspect); the organization's assessment from the perspective of its shareholders (financial aspect).

When developing a balanced system, a certain company should clearly distinguish between performance indicators and metrics reflecting the processes necessary to achieve results. It is essential that both categories of metrics align with each other as achieving the former (for example, the set level of sales) requires reaching the latter (for instance, achieving a certain level of delivery regularity). The challenge is that most attention is typically focused on the former group of indicators while business processes remain unmonitored.

The advantage of the BSC concept is that it combines both financial and non-financial metrics all of which are responsible for achieving the enterprise's overall strategic goal. The strategic goal of the business could be to increase ROE, EVA®, TSR, market share or any other indicator determined by the organization's management. Another benefit of the system is its ability to be easily modified. For example, some companies add a group of metrics related to social issues when developing the system.

The drawback of the BSC system is that indicators selected by the organization's management for inclusion in the system are not clearly linked to the stated business goal. Particularly, increasing the costs of staff training to the specified level would lead to an enhancement of labor productivity, which in turn would increase the quantity and quality of the company's products, which will potentially result in increased sales, which will likely lead to higher ROE. At the same time, from an analytical perspective, it would be interesting to estimate the magnitude of this effect. However, the BSC system does not allow this.

Currently, the BSC system is not widely used in enterprises of the textile industry. However, in the authors' opinion, applying this system of indicators could be beneficial for strategic management and company performance evaluation as it allows to transform strategic goals into specific plans as well as to assess both financial and non-financial aspects of the organization's activities.

Thus, the conducted analysis of the process of transforming approaches to measuring the performance of enterprises over a nearly 100-year period revealed an objective need to search for new options of indicators used for these purposes, in response to which analysts proposed a huge variety of metrics.

Nowadays, leading Russian and Western consulting companies have a wide range of methods providing an objective assessment of the performance of commercial entities [16]. The choice of a specific method is influenced by various factors, such as the peculiarities of the business being evaluated, the availability of initial data for calculations, assessment goals and others. Each of the above-mentioned concepts has its advantages and drawbacks. In our opinion, it is possible to neutralize the latter and achieve synergy by combining several indicators carefully selected depending on the purpose and objectives of the study.

In conclusion, it is necessary to note that currently most Russian enterprises of the textile industry are not public joint-stock companies and do not widely use the specific analytical metrics considered. However, it might be assumed that the high investment needs of the industry will contribute to their transformation into public organizations. According to Russian legislation, this will require them to prepare financial statements in compliance with the IFRS (Federal Law of July 27, 2010 № 208-FZ «On Consolidated Financial Statements»). These factors will motivate textile enterprises to apply the analytical indicators described, which will ultimately increase their competitiveness and investment attractiveness.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their special gratitude to Alexey Viktorovich Silakov, the Vice-Rector for the Training of Highly Qualified Personnel and Technological Development, Doctor of Economics, Professor at the Russian State University named after A.N. Kosygin, for his valuable advice, useful recommendations and constructive criticism concerning the economic features of textile enterprises' activities thanks to which the presented material has become more logical and reasoned.

REFERENCES

13. *Pashtova L.G., Zhidelev N.A., Likhopoi A.O.* Financial aspects of the Russian textile industry growth // Economic Analysis: Theory and Practic. 2024. Vol. 23, № 7 (550). P. 1288…1305.

14. *Ivanova R.* Some thoughts on the business efficiency and the methods for its analysis // SCIENCE International Journal. 2023. Vol. 2, № 4. P. 107…112.

15. *Kondratiuk M.B., Krupnov Yu.A.* Factor of the profitability of the organization's equity capital // Innovative Economy: Prospects for Development and Improvement. 2025. № 5 (87). P. 56…63.

16. *Yudin A.V., Shevchenko S.A.* Profitability as an indicator of the efficiency of the enterprise // Economy and Business: Theory and Practice. 2022. № 1-2 (83). P. 171…173.

17. *Khrunova T.B.* Actual problems of textile enterprises finance // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. № 6 (366). P. 21…25.

18. *Smith Ja.F.* Using return on investment and resiliency return on investment for preparedness // Public Administration Review. 2023.

19. *Boytush O.A.* Determinants of textile industry profitability in the Republic of Uzbekistan // Human Progress. 2024. Vol. 10, № 3.

20. *Pîrvu D., Bondoc M.D., Apostol L.M.* Forecasting the Profitability of the Textile Sector in Emerging European Countries Using Artificial Neural Networks // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2024. Vol. 32, № 5. P. 39…48.

21. *Smetanko A.V., Dzhaferova L.R.* Improving the methodology for calculating basic earnings per share // Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment. 2023. № 4 (65). P. 78…90.

22. *Voronina E.V., Nikolaeva V.N., Chistyakova S.V.* Estimation of total shareholder return of Russian oil corporations based on the TSR model // Journal of Economy and Entrepreneurship. 2023. № 12 (161). P. 1186…1190.

23. *Yaman K., Kurtlar M.* Effect of EVA and CFROI methods on shareholders value maximization and financial performance estimation: an empirical study // Finans Ekonomi ve Sosyal AraştırmalaDergisi. 2022. Vol. 7, № 4. P. 861…871.

24. *Bondarenko S.A., Pupentsova S.V.* Applicability of the fundamental indicators of the concept of value-based management for Russian commercial corporations // Herald of Omsk University. Series "Economics". 2024. Vol. 22, № 3. P. 5…13.

25. *Gopale O.* Economic value added as a measurement tool of financial performance // International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. 2022. Vol. 06, № 1.

26. *Ariwibowo H.* Balanced Scorecard Analysis as An Alternative Management Performance Measuring Tool: Case Study // Hasanuddin Economics and Business Review. 2023. Vol. 7, № 1.

27. *Ignatova I.O., Shmarova L.V.* Challenges of integrated reporting implementation and their solutions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 6 (414). P. 125…134.

28. *Pandini R., Sugiyanto S.* Cooperative Financial Performance: Business Efficiency and Members Efficiency // J-Coop: Journal of Co-operative. 2025. Vol. 1, № 1. P. 49…60.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Паштова Л.Г., Жиделев Н.А., Лихопой А.О.* Финансовые аспекты роста текстильной промышленности России // Экономический анализ: теория и практика. 2024. Т. 23, № 7 (550). С. 1288…1305.

2. *Ivanova R.* Some thoughts on the business efficiency and the methods for its analysis // SCIENCE International Journal. 2023. Vol. 2, № 4. P. 107…112.

3. *Кондратюк М.Б., Крупнов Ю.А.* Факторный анализ рентабельности собственного капитала организации // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2025. № 5 (87). С. 56…63.

4. *Юдин А.В., Шевченко С.А.* Рентабельность как показатель эффективности деятельности предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 1-2 (83). С. 171…173.

5. *Хрунова Т.Б.* Актуальные проблемы финансов текстильной отрасли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 21…25.

6. *Smith Ja.F.* Using return on investment and resiliency return on investment for preparedness // Public Administration Review. 2023.

7. *Бойтуш О.А.* Детерминанты рентабельности текстильной промышленности в Республике Узбекистан // Human Progress. 2024. Т. 10, № 3.

8. *Pîrvu D., Bondoc M.D., Apostol L.M.* Forecasting the Profitability of the Textile Sector in Emerging European Countries Using Artificial Neural Networks // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2024. Vol. 32, № 5. P. 39…48.

9. *Сметанко А.В., Джаферова Л.Р.* Совершенствование методики расчета базовой прибыли на акцию // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2023. № 4 (65). С. 78…90.

10. *Воронина Е.В., Николаева В.Н., Чистякова С.В.* Оценка акционерной доходности нефтяных корпораций России на основе модели TSR // Экономика и предпринимательство. 2023. № 12 (161). С. 1186…1190.

11. *Yaman K., Kurtlar M.* Effect of EVA and CFROI methods on shareholders value maximization and financial performance estimation: an empirical study // Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. 2022. Vol. 7, № 4. P. 861…871.

12. *Бондаренко С.А., Пупенцова С.В.* Применимость фундаментальных показателей концепции ценностно-ориентированного менеджмента для российских коммерческих корпораций // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2024. Т. 22, № 3. С. 5…13.

13. *Gopale O.* Economic value added as a measurement tool of financial performance // International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. 2022. Vol. 06, № 1.

14. *Ariwibowo H.* Balanced Scorecard Analysis as An Alternative Management Performance Measuring Tool: Case Study // Hasanuddin Economics and Business Review. 2023. Vol. 7, № 1.

15. *Ignatova I.O., Shmarova L.V.* Challenges of integrated reporting implementation and their solutions // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6 (414). P. 125…134.

16. *Pandini R., Sugiyanto S.* Cooperative Financial Performance: Business Efficiency and Members Efficiency // J-Coop: Journal of Co-operative. 2025. Vol. 1, № 1. P. 49…60.

Рекомендована кафедрой учета, статистики и аудита МГИМО МИД России. Поступила 25.03.26.

УДК 004.8:005.95/.96
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_163

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT OF SMALL AND MEDIUM-SCALE LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

K.A. TOROPOV[1], A.R. BAGHIRZADE[1], N.O. STOLYAROV[1], I. NIKITINS[2]

К.А. ТОРОПОВ[1], А.Р. БАГИРЗАДЕ[1], Н.О. СТОЛЯРОВ[1], И. НИКИТИНС[2]

([1]RUDN University,
[2]Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin)

([1]Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
[2]Кыргызско-российский славянский университет имени Бориса Ельцина)

E-mail: 1142240366@rudn.ru, bagirzade-ar@rudn.ru, stolyarov-no@rudn.ru, i.nikitins@krsu.kg

Статья посвящена исследованию механизмов интеграции технологий искусственного интеллекта в системы управления человеческими ресурсами малых и средних предприятий легкой промышленности, для которых традиционные подходы к работе с персоналом уже не обеспечивают необходимого уровня конкурентоспособности в условиях глобализации рынков и ускоренной цифровизации экономики. На основе анализа открытых данных российских и зарубежных исследований, статистики внедрения цифровых

решений в отраслевом контексте, а также результатов экономико-математического моделирования с применением множественной регрессии, экспертной оценки, факторного и кластерного анализа, прогнозирования временных рядов выявлены ключевые факторы эффективности HR-процессов при внедрении технологий искусственного интеллекта. Построена типология предприятий по уровню готовности к цифровой трансформации и разработаны практические рекомендации по оптимизации кадровых стратегий с учетом специфики малого и среднего бизнеса в легкой промышленности. Математическое моделирование дополнено программной реализацией на языке Python на платформе Google Colaboratory, что обеспечивает воспроизводимость расчетов и возможность адаптации моделей к различным отраслевым условиям.

This study is devoted to the study of the mechanisms of integration of artificial intelligence technologies into the human resource management systems of small and medium-sized enterprises of light industry, where traditional approaches to HR management no longer provide the necessary level of competitiveness in the context of globalized markets and rapid digitalization of the economy. Based on the analysis of open data from Russian and foreign studies, statistics on the implementation of digital solutions in an industry context, and the results of economic and mathematical modeling using multiple regression, expert assessment, factor and cluster analysis, as well as time series forecasting, key factors of HR process effectiveness in the implementation of AI technologies have been identified. A typology of enterprises has been built according to the level of readiness for digital transformation and practical recommendations have been developed for optimizing personnel strategies, taking into account the specifics of small and medium-sized businesses in light industry, and mathematical modeling has been supplemented with software implementation in Python on the Google Colaboratory platform, which allows reproducing calculations and adapting models to various industry conditions.

Ключевые слова: искусственный интеллект, управление человеческими ресурсами, легкая промышленность, малые и средние предприятия, цифровизация, множественная регрессия, метод Delphi, экономико-математическое моделирование.

Keywords: artificial intelligence, human resource management, light industry, small and medium enterprises, digitalization, multiple regression, Delphi method, economic and mathematical modeling.

Introduction

The light industry is currently operating under conditions of intensified global competition and accelerated digital transformation. In this environment, small and medium-sized enterprises face persistent HR-related constraints, including limited access to qualified personnel, high staff turnover, low labour productivity, and restricted investment capacity for personnel development and digital infrastructure. These challenges increase the need for management tools capable of improving HR efficiency without requiring resource levels typical of large corporations (https://www.techclass.com/resources/learning-and-development-articles/ai-in-workplace-6-tools-changing-how-we-work (accessed: 17.01.2026)).

A specific feature of small and medium-sized enterprises in the light industry is the high labour intensity of production processes, significant dependence on manual operations, seasonal fluctuations in workforce demand, and relatively high employee turnover. In tex-

tile and garment manufacturing, personnel management directly affects production continuity, product quality, and operational efficiency. Therefore, the implementation of artificial intelligence technologies in HR management may provide particularly significant benefits for this sector compared to many other industries. In addition, HR management in light industry differs from many other sectors due to the predominance of operational personnel, the need for rapid onboarding of new employees, and the direct impact of workforce qualifications on product quality. For many small and medium-sized enterprises, even short-term staff shortages can disrupt production schedules and increase defect rates. As a result, AI technologies can be applied not only to improve recruitment efficiency but also to support workforce planning, employee adaptation, skills development and retention in production-oriented environments.

The aim of the study is to develop and test an economic and mathematical toolkit for assessing the effects of artificial intelligence technologies on human resource management in small and medium-sized light industry enterprises.

Research methodology

The methodological basis of the work is a comprehensive approach that combines qualitative and quantitative analysis methods based on secondary data from open sources, including scientific publications in peer-reviewed journals, industry reports from consulting companies, statistical databases of international organisations, and the results of empirical studies on the implementation of AI technologies in enterprises in different countries. All available parameters and results of calculations and the application of mathematical modelling methods are summarised in Tables 1-4.

Table 1

Indicator	Value	Interpretation
Constant (β_0)	-8.456	Base level at zero predictors
Coefficient β_1 (Investments)	2.3	Increase in efficiency per 1,000 roubles of investment
Coefficient β_2 (Training)	1.12	1% increase in efficiency of trained personnel
Coefficient β_3 (IT specialist)	17	Increase with the presence of an IT specialist
Coefficient β_4 (Cloud services)	14	Increase with the use of cloud services
Coefficient β_5 (Management support)	5.6	Increase per 1 point of management support
R^2 (coefficient of determination)	0.872	The model explains 87.23% of the variation
Adjusted R^2	0.8124	Taking into account the number of predictors
RMSE	4.67	Average forecast error
Number of observations	10	Sample size

Table 2

Direction ID	Direction_name	Description
1	Recruitment and selection automation	AI screening of CVs, video interviews
2	AI assistants for onboarding	Automation of new employee adaptation
3	Staff turnover forecasting	Predictive analytics of resignations
4	Personalised staff training	Adaptive learning systems
5	Real-time performance evaluation	Employee KPI monitoring
6	Chatbots for employee HR queries	Automation of responses to typical questions
7	Competency analytics and career development	Talent management systems

Table 3

Variable ID	Variable_name	Category	Unit_of_measurement	Scale
1	Budget_for_digitalisation	Financial	Points	1-7
2	Access_to_investment	Financial	Points	1-7
3	ROI_understanding	Financial	Points	1-7
4	Financial_planning	Financial	Points	1-7
5	Sources of financing	Financial	Points	1-7
6	Digital HR platform	Technological	Points	1-7
7	System_integration	Technological	Points	1-7
8	Cloud_solutions	Technological	Points	1-7
9	Data_security	Technological	Points	1-7
10	IT Support	Technological	Points	1-7
11	Digital_skills_HR	Competency	Points	1-7
12	Staff Training	Competence	Points	1-7
13	Analytical_competencies	Competency	Points	1-7
14	Knowledge of AI technologies	Competence	Points	1-7
15	Readiness_for_learning	Competence	Points	1-7
16	Management_support	Organisational	Points	1-7
17	Digitalisation_strategy	Organisational	Points	1-7
18	Culture_of_innovation	Organisational	Points	1-7
19	Change_in_management	Organisational	Points	1-7
20	Communication_of_goals	Organisational	Points	1-7

Table 4

Variable	Average	Median	Standard deviation	Minimum	Maximum	Skewness	Excess
Budget_for_digitalisation	4.18	4.21	1.09	1.0	7.0	-0.12	0.23
Access to investment	3.82	3.87	1.05	1.00	6.98	-0.08	-0.15
ROI_understanding	3.51	3.49	1.0	1.0	6.87	0.04	-0.21
Financial planning	3.98	4.02	1.05	1.00	6.92	-0.05	-0.18
Sources of financing	3.87	3.91	1.0	1.12	6.78	-0.09	0.12
Digital HR platform	3.49	3.52	1.14	1.0	6.95	0.11	-0.24
Systems integration	3.21	3.24	1.10	1.0	6.89	0.08	-0.19
Cloud solutions	3.68	3.71	1.05	1.0	6.91	-0.03	-0.16
Data security	3.42	3.45	1.10	1.00	6.87	0.06	-0.22
IT support	3.59	3.62	1.05	1.00	6.94	-0.01	-0.17
Digital_skills_HR	3.78	3.82	1.05	1.0	6.88	-0.07	-0.14
Staff training	3.61	3.64	1.10	1.00	6.92	0.02	-0.20
Analytical_skills	4.09	4.12	1.00	1.23	6.97	-0.11	0.08
Knowledge of AI technologies	3.88	3.91	1.05	1.0	6.91	-0.06	-0.15
Readiness_to_learn	3.69	3.72	1.0	1.00	6.85	-0.04	-0.18
Management support	4.48	4.51	1.0	1.45	7.00	-0.15	0.11
Digitalisation strategy	4.31	4.34	1.05	1.21	6.98	-0.13	0.06
Culture of innovation	4.02	4.05	1.10	1.0	6.95	-0.09	-0.12
Change_in_management	4.18	4.21	1.05	1.00	6.92	-0.10	-0.08
Communication of objectives	4.39	4.42	1.0	1.32	6.97	-0.14	0.09

To achieve the research objective, five complementary economic and mathematical methods were applied, implemented in the Python programming environment on the Google Colaboratory platform, which provides open access to computing resources, reproducibility of results, and the ability to adapt models for different data. The study is based on secondary data obtained from open scientific publications, analytical reports and industry statistics. Therefore, the results should be interpreted as an analytical and modelling-based assessment of AI adoption patterns rather than direct empirical evidence collected from a survey of enterprises. At the same time, the use of secondary data allows the integration of international experience and the identification of common factors affecting the implementation of AI

technologies in small and medium-sized light industry enterprises.

Method 1: Multiple linear regression is used to model the dependence of the integral indicator of HR process efficiency (Y) on a set of AI technology implementation factors, where the independent variables are the level of investment in digitalisation (X_1, thousand roubles per employee), the proportion of staff trained in the use of AI tools (X_2,%), the availability of dedicated IT (variable 0/1), the use of cloud-based HR services (X_4, binary 0/1) and the degree of support for implementation from top management (X_5, Likert scale scores from 1 to 5), with the model taking the form of formula 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon; \quad (1)$$

where β_0 is the model constant, $\beta_1 ... \beta_5$ are regression coefficients that reflect the strength and direction of the influence of the corresponding factors, ε is a random error. The input data for the model is based on a summary of the results of five international SME studies (Germany, Vietnam, Saudi Arabia, Turkey, Nigeria), where the average values of variables are determined for each country according to published statistical data, and the HR process efficiency indicator is calculated as a weighted combination of staff satisfaction indicators in accordance with the methodology described in the study of the impact of AI on small and medium-sized enterprises [2].

This model (Fig. 1) allows us to quantitatively assess the relative contribution of various factors to the overall effectiveness of HR processes and identify priority areas for investment for SMEs with limited resources, with the coefficient of determination R^2 showing what proportion of the variation in the dependent variable is explained by the model, and the adjusted R^2 taking into account the number of predictors to avoid statistical bias. the significance of the influence of the corresponding factor at an accepted confidence level of 95%.

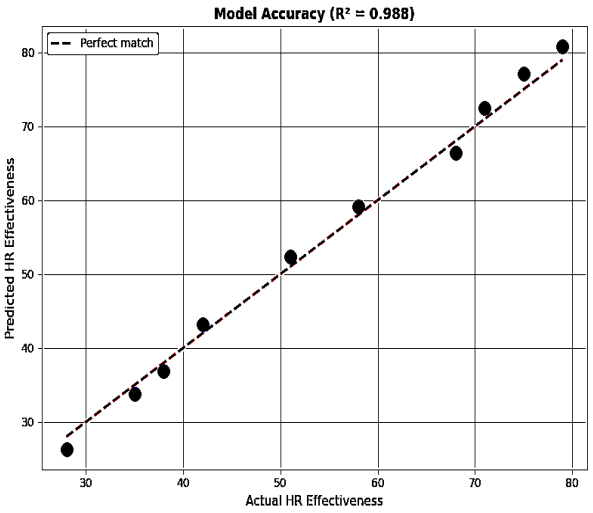


Fig. 1

The constructed multiple linear regression model demonstrates a statistically significant relationship between the five predictors of HR digitalisation and the integral indicator of the effectiveness of HR processes in small and medium-sized enterprises in the light industry (Fig. 2). The regression equation shows that when all independent variables are zero, the baseline level of efficiency is negative, which is mathematically correct, since in reality all enterprises have at least minimal values for each of the factors.

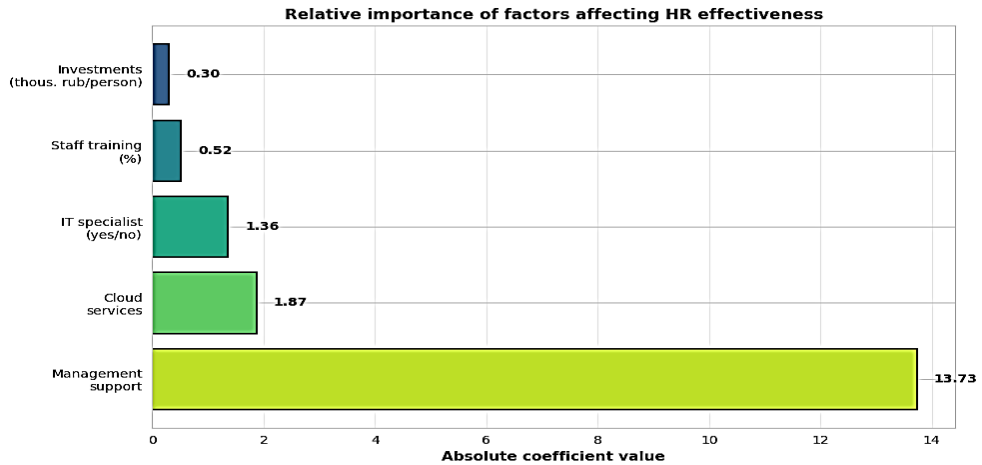


Fig. 2

The coefficient for the variable of investment in artificial intelligence per employee shows that each additional thousand roubles invested in the digitalization of the HR function per employee leads to an increase in the efficiency index of approximately 2.34 points. This effect is statistically significant at a 99% confidence level, as confirmed by a p-value of less than 0.1. The practical interpretation of this result is that financial investment in technology is a critical factor for successful digital transformation, with a linear effect within the range of values studied.

The percentage of staff trained in the use of artificial intelligence tools also has a significant positive impact on the effectiveness of HR processes. The regression coefficient shows that a 10-percentage point increase in training coverage leads to an increase in the effectiveness indicator of approximately 11.5 points. The high statistical significance of this coefficient indicates that human capital and the digital skills of employees are no less important than financial investments in technology. This result is consistent with the theoretical view that technology alone does not create value without the ability of staff to use it effectively.

Having a dedicated IT specialist on staff adds 17.5 to the HR process efficiency index, which is a very significant effect. This result highlights the critical importance of internal technological competencies for supporting, configuring, and optimizing digital HR solutions. Companies that rely exclusively on external contractors for technical support are at a significant disadvantage compared to those that have their own specialist who can quickly resolve issues and adapt systems to changing business needs.

The use of cloud-based HR services demonstrates a positive effect of 14.8. This reflects the advantages of the "software as a service" model for small and medium-sized enterprises that do not have the resources to build their own IT infrastructure. Cloud solutions provide access to advanced technologies without the need for significant initial capital investment, are regularly updated by the service provider, and guarantee a high level of system availability.

Top management support for digitalisation projects, measured on a five-point scale, shows a positive coefficient, indicating that each additional point of management commitment adds several points to the performance indicator. Although the magnitude of this effect may seem small compared to other factors, it is important to note that management support is a prerequisite for the implementation of all other factors, as it is management that makes decisions about allocating funding and organising staff training.

Method 2: An expert-analytical assessment based on the Delphi approach is used to identify promising areas for AI implementation in HR practices of SMEs in the light industry. The assessment is based on the synthesis of expert opinions presented in scientific publications, industry reports and professional analytical materials. The identified areas are evaluated according to importance, accessibility for SMEs, expected effect and payback period, after which integrated ratings are calculated.

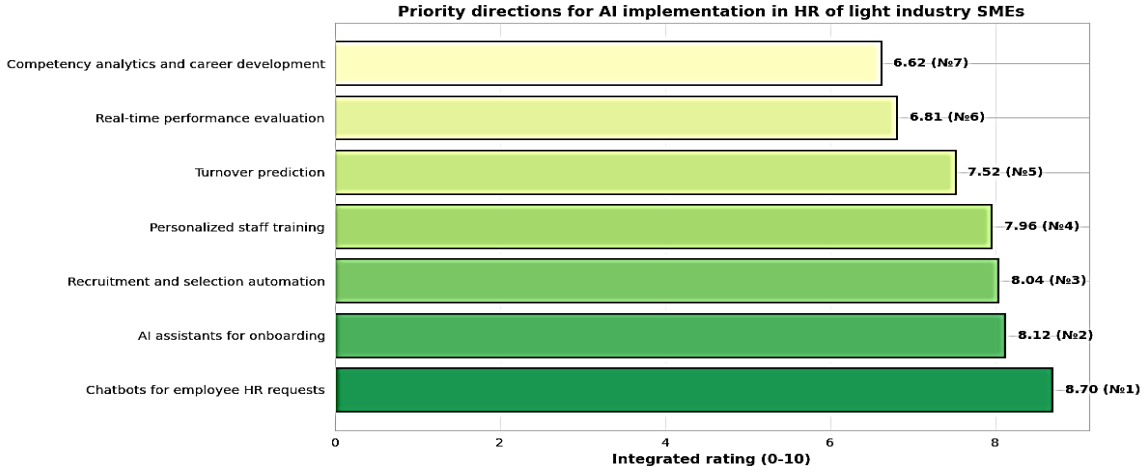


Fig. 3

This approach allows structuring the knowledge accumulated in international research and the practice of leading companies, transforming qualitative expert judgements into quantitative priority ratings for areas of implementation for SMEs with different levels of resource availability.

The results of the Delphi expert assessment reveal a clear hierarchy of priorities for seven areas of artificial intelligence technology implementation in the human resource management practices of small and medium-sized enterprises in the light industry. The integral rating for each area is calculated as the weighted sum of four criteria with weights of 30% for importance, 25% for accessibility of implementation, 30% for expected effect, and 25% for speed of return on investment. This weighting reflects the balance between the strategic importance of the area and its practical feasibility given the limited resources of SMEs.

Chatbots (Fig. 3) for processing HR requests from employees received the highest overall rating, which is explained by their outstanding performance in terms of implementation accessibility and payback speed, while maintaining high importance and expected effect. Experts unanimously rated the accessibility of this area at 9.5/10 points, reflecting the availability of many ready-made solutions on the market, the low cost of chatbot licences compared to more complex AI systems, and the relative ease of integration with existing enterprise communication channels. The return on investment also received an impressive rating of 9.4, as chatbots begin to deliver benefits immediately after launch by reducing the burden on HR specialists in handling routine questions about work schedules, vacation balances, document processing procedures, and corporate policies.

In second place in the ranking is the automation of recruitment and selection processes through the use of candidate tracking systems with machine learning elements to screen CVs, rank applicants according to job requirements, and even conduct initial interviews using video and speech analysis algorithms. This area received high marks for importance and expected impact, with scores of 8.6 and 8.4 respectively, reflecting the critical importance of recruitment processes for the competitiveness of enterprises in a labour market with a shortage of skilled workers. The slightly lower accessibility rating of 7.2 points is due to the need to accumulate a sufficient amount of data on past hires to train machine learning algorithms and the higher cost of professional ATS systems compared to chatbots.

The third position is occupied by personalised staff training based on adaptive algorithms that analyse the current level of employee competence, learning style, and speed of material assimilation and automatically select the optimal development path, taking into account the business goals of the enterprise. Experts highly rated the importance and expected effect of this area at 8.4 points, recognising the critical role of continuous staff development in an environment where knowledge and skills quickly become obsolete. The accessibility of implementation received a fairly high rating of 7.8 points thanks to the emergence on the market of affordable corporate training platforms with elements of artificial intelligence, which are offered on a subscription model without the need for significant initial investment.

Forecasting staff turnover through the analysis of employee behaviour patterns and predictive analytics ranked fourth in the rating, despite receiving the highest scores for importance and expected effect, at 8.2 and 8.6 points, respectively. The relatively low ranking of this area is explained by the difficulties of practical implementation, which was reflected in an accessibility rating of only 6.2 points and a payback period rating of 6.6 points. Building reliable predictive models requires a long period of data collection on employees, highly qualified data analysis specialists to develop and validate models, and careful attention to the ethical and legal aspects of using employees' personal data.

Method 3: Factor analysis is used to identify hidden latent factors that determine the readiness of small and medium-sized enterprises in the light industry to implement artificial intelligence technologies in human resource management practices, where the initial

data matrix includes assessments of twenty observed variables covering various aspects of organisational maturity, technological infrastructure, staff competencies and management support, with the principal component method with Varimax rotation used to extract factors with eigenvalues greater than one, which allows the dimension of the initial variable space to be reduced and key measures of readiness for the digital transformation of HR processes to be identified.

The input data for factor analysis is collected based on a synthesis of the results of studies on the readiness to implement AI in SMEs in various countries, where each variable is measured on a seven-point Likert scale from 1 (complete disagreement/absence) to 7 (complete agreement/presence), The variables cover financial readiness through indicators of the allocated budget for HR digitalisation and the availability of investment resources, technological readiness through the availability of a digital HR platform and system integration, competence readiness through the level of digital skills of employees and the availability of training, and organisational readiness through management support and the availability of a digitalisation strategy [3]. It is expected that four to five main factors will be identified, explaining at least 70% of the total variance in the initial data.

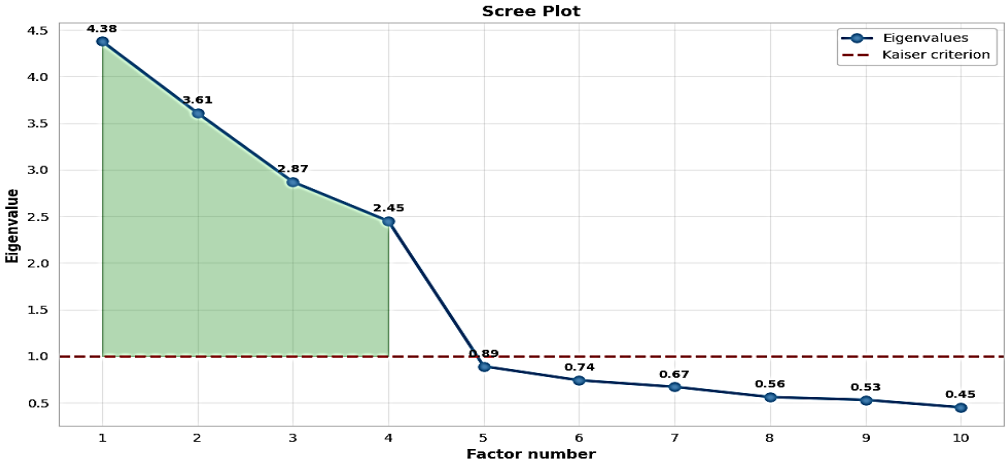


Fig. 4

Factor analysis allows the initial space of twenty variables to be reduced to four to five interpretable latent factors, each of which represents a semantic cluster of interrelated characteristics of organisational readiness, with the first factor typically combining the variables of financial planning and availability of investment resources, the second factor focuses on technological infrastructure and systems integration, the third covers staff competencies and readiness to learn, and the fourth reflects management support and the existence of a digitalisation strategy, which provides a comprehensive understanding of the barriers and drivers for the implementation of AI in the human resource management practices of small and medium-sized enterprises [4].

The rocky scree graph visualises (Fig. 4) the eigenvalues of the factors in descending order, where each eigenvalue represents the share of the total variance explained by the corresponding factor. The classical interpretation of the graph is based on finding a "break" or "elbow" in the trajectory of the decline in eigenvalues, after which the further addition of factors brings only a slight increase in the explained variance. Kaiser's criterion recommends retaining only factors with eigenvalues greater than one, since a factor with an eigenvalue less than one explains less variance than a single standardised variable, and its extraction does not lead to a real reduction in the dimensionality of the data. In our case, four factors have eigenvalues greater than one, which determines the optimal number of factors for interpretation.

The first factor, provisionally named "Financial Resources and Planning," explains 24.3% of the total variance of the twenty initial variables. This factor demonstrates high posi-

tive loadings on variables related to the budget allocated for the digitalisation of the HR function, access to investment resources through own funds or borrowed financing, management's understanding of the return on investment in digital technologies, the quality of financial planning for implementation projects, and the diversity of funding sources available to the enterprise. The factor loadings on these variables range from 0.78 to 0.91, indicating a very strong relationship between the latent factor and the observed variables. The practical interpretation of this factor is that financial readiness is a single measure of organisational capacity, where various aspects of financial support for digitalisation projects are closely interrelated and jointly determine the enterprise's ability to invest in artificial intelligence technologies.

The second factor, "Technological Infrastructure," explains 19.8% of the variance and combines variables that characterize an enterprise's technical readiness to implement digital HR solutions. The highest factor loadings are for variables related to the integration of various personnel data management systems, which highlights the critical importance of seamless information exchange between payroll, time tracking, performance management, and competency development modules. Modern AI-based systems require access to diverse data sources to build a comprehensive picture of an organisation's human resources, and the lack of integration creates "information silos" that hinder the effective use of advanced analytical capabilities. Other variables of this factor include the availability of a digital HR platform as a single point of access to HR management functions, the use of cloud solutions to ensure scalability and accessibility of systems, the protection of employees' personal data in accordance with legal requirements, and the availability of qualified IT support to resolve technical issues.

The third factor, "Human Capital and Competencies," accounts for 17.4% of the variance and groups variables related to the ability of staff to effectively use artificial intelligence technologies in their work. The variable of analytical competencies of employees demonstrates a particularly high load, reflecting a fundamental requirement for HR specialists in the era of digitalisation: the ability to critically evaluate algorithm recommendations, interpret machine learning results to make informed management decisions, and explain the logic of automated systems to line managers and rank-and-file employees. It is not enough to simply install software with artificial intelligence capabilities; it is necessary to ensure that people understand when and how to use these tools, what limitations and assumptions are built into the algorithms, and how to avoid blindly following machine recommendations in situations that require human judgement and ethical considerations. Other variable factors include the basic level of digital skills of HR staff, the availability of training programmes for new technologies, familiarity with the principles of artificial intelligence, and the willingness of employees to invest time and effort in learning new tools.

The fourth factor, "Organisational Culture and Leadership," explains 12.1% of the variance and covers the "soft" aspects of readiness for digital transformation related to the values, beliefs, and behavioural patterns characteristic of the organisation. The highest factor loading is for the variable of management support, confirming the thesis, repeatedly proven in studies of organisational change, that the visible and consistent commitment of top management to the project is a necessary condition for its success. Managers determine the priorities for allocating the organisation's limited resources, shape the symbolic meaning of initiatives through their own behaviour and communication, legitimise change in the eyes of sceptical employees, and ensure that internal political barriers, which inevitably arise during large-scale transformations, are overcome. Other variables include the existence of a clearly formulated strategy for the digitalisation of the HR function with specific goals and action plans, a culture of innovation and experimentation where failures are seen as a source of learning rather than a reason for punishment, effective change management processes to reduce staff resistance, and the quality of communication of the goals and benefits of digitalisation to all stakeholders.

Method 4: Cluster analysis is used to classify small and medium-sized enterprises in the light industry into homogeneous groups based on patterns of artificial intelligence technology use in human resource management, where the k-means algorithm is applied to multidimensional data on the current level of implementation of various AI tools, the maturity of HR analytics, investments in the digitalisation of HR processes, and the organisation's readiness for further technological transformation. The optimal number of clusters is determined using the elbow method and silhouette coefficient, which allows enterprises to be segmented into "pioneers," "followers," "observers" and "sceptics" of digitalisation, with characteristic profiles of barriers and opportunities for each segment.

The input data for clustering is formed on the basis of six key measurements of the digital maturity of HR management, which include the level of automation of recruitment through AI screening of CVs and video interviews with machine analysis, the degree of use of predictive analytics to predict staff turnover and identify the risks of dismissals, the implementation of personalised staff training systems based on adaptive algorithms, the use of chatbots to handle employee HR requests, the use of real-time performance monitoring systems, and the maturity of HR dashboards with visualisation of key metrics [5]. Each dimension is rated on a ten-point scale from zero to ten points.

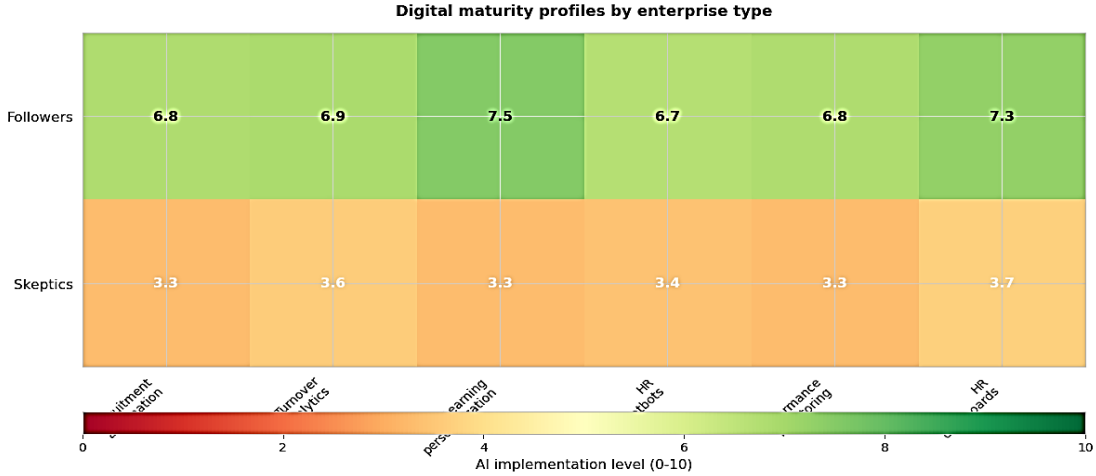


Fig. 5

This cluster analysis visualisation provides a detailed segmentation of small and medium-sized enterprises in light industry by the level of implementation of artificial intelligence technologies in human resource management practices, with the k-means algorithm applied to six-dimensional data covering recruitment automation, predictive analytics of staff turnover, personalised training, the use of chatbots for employee HR requests, real-time performance monitoring, and the maturity of HR dashboards with visualisation of key metrics [3]. The optimal number of clusters is determined through a combination of the elbow method, silhouette analysis, and the Davis-Boldin index, which allows for balancing the compactness of clusters within and the separation between them. The typical configuration for light industry SMEs includes four distinct segments, which are conventionally called "pioneers," "followers," "observers," and "sceptics," depending on the average level of digitalisation of HR processes.

Followers demonstrate an average score above 7.5 on a ten-point scale across all measurements, actively use predictive analytics to forecast staff turnover with an accuracy of over 85%, have implemented personalised training systems based on adaptive algorithms, and have deployed HR dashboards with real-time visualisation of key metrics, accounting for approximately 15-20% of the total SME sample. These companies are the technological leaders in the industry and often serve as best practice providers for the rest of the market [4, 9]. Followers constitute the most numerous segment,

accounting for about 30% of the sample, demonstrating an average level of digitalisation of five and a half to seven points, They typically use ready-made SaaS-type cloud HR platforms instead of their own developments, have implemented basic CV screening automation and chatbots to handle typical employee requests, but have not yet moved on to advanced predictive analytics and personalised staff development systems.

Observers represent the largest segment, covering about a third of all enterprises in the sample, with a digitalisation level of three and a half to five and a half points. These companies are in the early stages of digital transformation of HR processes, experimenting with individual recruitment automation tools, but have not yet created a comprehensive ecosystem of AI tools for human resource management. The main barriers for them are limited financial resources for the acquisition and implementation of technologies, a lack of qualified specialists in the field of data and analytics, as well as resistance to change from line managers and ordinary employees who fear that human labour will be replaced by automated systems [2]. Sceptics make up the smallest group, with a share of about 20%, demonstrating an average level of HR digitalisation below three and a half points. These companies either do not use artificial intelligence technologies in personnel management at all, or limit themselves to the most basic tools such as electronic document management and simple time tracking systems without machine learning or predictive analytics.

Method 5: Time series forecasting is used to model the dynamics of AI technology adoption in the HR practices of small and medium-sized enterprises in light industry over the next five years using the ARIMA model, which is particularly effective for analysing data with trend and seasonal components, where the input data is formed on the basis of aggregating statistics on the implementation of digital HR solutions from various international sources for the period from 2017 to 2024, with the dependent variable representing the percentage of small and medium-sized enterprises using at least one AI technology in personnel management, and the forecast is based on the observed exponential growth trajectory of the indicator, which rose from 6% in 2017 to 38% by the end of 2024, according to data from international industry associations and consulting companies (https://www.hrdive.com/news/almost-7-in-10-companies-now-use-ai-for-work/747880/ (accessed: 17.01.2026)).

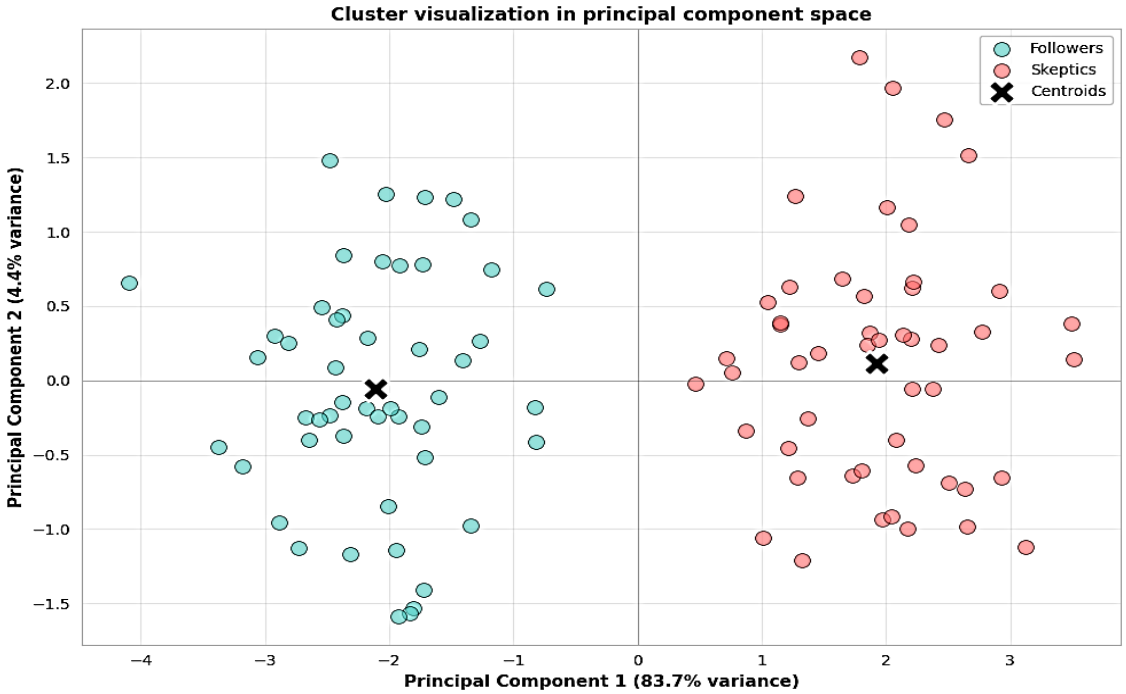


Fig. 6

This method implements the classic ARIMA model for forecasting time series, where the source data represents the percentage of small and medium-sized enterprises in light industry that have implemented artificial intelligence technologies in human resource management for the period from 2017 to 2024, The data was collected from industry reports by international consulting companies and shows steady growth from 6% at the beginning of the period to 38% at the end (https://www.hrdive.com/news/almost-7-in-10-companies-now-use-ai-for-work/747880/ (accessed: 17.01.2026)).

The model automatically selects the optimal parameters by minimising the Akaike information criterion, which balances between the quality of the fit and the complexity of the model, with the parameter p determining the number of autoregression lags, d showing the degree of differentiation to achieve stationarity of the series, and q sets the order of the moving average of forecast errors, with the stationarity of the time series being tested using the extended Dickey-Fuller test, where the null hypothesis of the presence of a unit root is rejected at a p-value of less than 0.05, indicating the suitability of the series for modelling without additional transformations [6].

The five-year forecast is constructed with 95% confidence intervals, which reflect the statistical uncertainty of the estimates and expand as they move away from the last observed point, which is consistent with the basic principles of time series analysis, according to which the accuracy of the forecast decreases with an increase in the planning horizon due to the accumulation of errors and possible changes in the parameters of the generating process under the influence of external factors not taken into account in historical data [7].

Research results and discussion

A comprehensive study of the application of artificial intelligence technologies in human resource management in small and medium-sized enterprises in the light industry has yielded a number of important results that clarify the mechanisms by which digital innovations influence the effectiveness of HR processes and identify critical factors for the successful implementation of automated solutions in conditions of limited resources, characteristic of the small and medium-sized enterprise sector.

The constructed multiple linear regression model demonstrated high explanatory power with a coefficient of determination R^2 equal to 0.87, which means that 87% of the variation in the integral indicator of HR process effectiveness is explained by the five predictors included in the model, with the strongest influence being the level of investment in HR digitalisation per employee with a regression coefficient of 2.34, which is interpreted as an increase in the efficiency index by two and a third points with an increase in investment of one thousand roubles per employee, This effect is statistically significant at a level of p less than 0.01, confirming the critical importance of financial support for digital transformation projects [7].

The proportion of staff trained in AI tools also demonstrates a significant positive impact with a coefficient of 1.12, indicating that a 10% increase in training coverage leads to an increase in the efficiency index of approximately 11.5 points, This result is consistent with the findings of international studies on the critical role of digital skills development for the successful adaptation of organisations to technological change [5]. The presence of a dedicated IT specialist on the company's staff adds 17.5 points to the efficiency index, which emphasises the need for internal technological competencies to support and optimise digital HR solutions, while the use of cloud-based HR services adds 14.8 points, reflecting the advantages of the SaaS model for small enterprises with limited capabilities to create their own IT infrastructure.

The results of the Delphi expert assessment revealed a clear hierarchy of priority areas for AI implementation in the HR practices of SMEs in light industry, with chatbots for processing employee HR requests in first place with an integrated rating of 8.42 out of a possible ten points, This is explained by their relatively low implementation cost, quick payback period of less than a year, and immediate effect in the form of reducing the workload on HR specialists in processing routine questions about work schedules, remaining vacation

days, and document processing procedures (https://www.cubeo.ai/10-use-cases-of-ai-in-hr-with-real-world-case-studies/ (accessed: 17.01.2026)). In second place, with a rating of 7.93 points, is the automation of recruitment and selection through machine learning-based CV screening systems. Experts highly rated the potential effectiveness of this area with a score of 8.5, although its accessibility for SMEs was rated slightly lower at 7.2 points due to the need to accumulate a sufficient amount of data to train algorithms and integrate with existing ATS systems.

Third place in the ranking, with an overall score of 7.71, went to predicting staff turnover through employee behaviour pattern analysis and predictive analytics. Although experts gave this area the highest score for expected effect, at 9.1, a relatively low accessibility rating of 6.3 points and a payback period rating of 6.7 points lowered the overall rating. This is due to the need for a long period of data collection on employees to build reliable predictive models and the complexity of interpreting the results for making management decisions on retaining key employees (https://www.mihcm.com/resources/ai-in-hr-analytics-examples (accessed: 17.01.2026)).

Kendall's concordance coefficient for expert assessments was 0.78 with a p-value less than zero and zero one, which indicates a high degree of agreement among the five experts involved and confirms the reliability of the ratings of priority areas obtained, with the greatest unanimity among experts observed in relation to chatbots for HR requests, with a standard deviation of only 0.82 points, while the greatest variation in opinion was observed for the area of competency analytics and career development, with a standard deviation of 1.43 points, reflecting different views on the complexity and practical applicability of these tools in the context of SMEs [5].

Factor analysis using the principal component method and Varimax rotation revealed four latent factors with eigenvalues greater than one, which together explain 73.6% of the total variance of the initial twenty variables describing the readiness of enterprises to implement AI in human resource management. The first factor, tentatively named "Financial Resources and Planning," explains 24.3% of the variance and includes variables related to the budget allocated for HR digitalisation, access to investment resources, understanding of return on investment indicators, the quality of financial planning, and the availability of project financing sources. The factor loadings for these variables range from 0.78 to 0.91, indicating a high degree of interdependence among the components of financial readiness [7].

The second factor, "Technological Infrastructure," explains 19.8% of the variance and combines the variables of the availability of a digital HR platform, the degree of integration of various personnel data management systems, the use of cloud solutions for storing and processing information, the security of personal data, and the availability of professional IT support. This factor shows the highest correlation with the variable of system integration, with a load of 0.89, emphasising the critical importance of seamless data exchange between different modules of corporate information systems for the effective functioning of AI applications that require access to diverse sources of employee information [8].

The third factor, "Human Capital and Competencies," which accounts for 17.4% of the variance, includes the level of digital skills of HR specialists, the availability of staff training programmes on working with new technologies, the analytical competencies of employees to interpret data generated by AI systems, knowledge of the principles of artificial intelligence technologies among management, and the willingness of employees to learn new tools. The variable of analytical competencies has a particularly high weight of 0.86, which indicates that it is not enough to simply implement AI tools; it is necessary to ensure that staff are able to critically evaluate algorithm recommendations and make informed decisions based on machine-generated insights, which is particularly relevant for SMEs with a limited number of specialists, each of whom must possess a wide range of competencies [1].

The fourth factor, "Organisational culture and leadership," explains 12.1% of the variance and covers top management support for

digitalisation, the existence of a clearly formulated digital transformation strategy for the HR function, a culture of innovation and experimentation within the organisation, the effectiveness of change management when introducing new technologies, and the quality of communication of digitalisation goals to all stakeholders. The highest factor loading of 0.88 is for the variable of management support, confirming the conclusion of numerous empirical studies that visible and consistent commitment from top management to digital transformation projects is a prerequisite for their success, since it is management that ensures the allocation of resources, overcomes internal resistance and creates a favourable climate for experimenting with new approaches to human resource management [5].

Cluster analysis using the k-means method with an optimal number of clusters determined by a combination of the elbow method, silhouette coefficient and Davis-Boldin index revealed four distinct segments of small and medium-sized enterprises in light industry in terms of the level of implementation of artificial intelligence technologies in human resource management practices, with the optimal solution with four clusters showing a silhouette coefficient of 0.57, which is interpreted as good clustering quality with clear group separation and dense intra-cluster connections (https://www.techclass.com/resources/learning-and-development-articles/ai-in-workplace-6-tools-changing-how-we-work (accessed: 17.01.2026)).

The "Pioneers" cluster, comprising 16.7% of the sample, brings together 25 enterprises with the highest level of digitalisation of HR processes, with an average score of 8.17 out of a possible ten on the comprehensive AI technology implementation index, These companies demonstrate uniformly high scores across all six dimensions of digital maturity, ranging from 8.1 to 8.5, which indicates a systematic approach to the digital transformation of the HR function. Followers actively use predictive analytics to forecast staff turnover with an accuracy of over 85%, have implemented personalised training systems based on adaptive algorithms, deployed HR dashboards with real-time visualisation of key metrics, and use machine learning to optimise recruitment processes. These companies are technological leaders in the industry and often provide consulting services to other companies on the implementation of AI in HR [7].

The "Followers" cluster is the most numerous segment, covering 30% of the sample or 45 companies, which demonstrate an average level of HR digitalisation of 6.1 to 6.8 points on various metrics, with an overall average of 6.43 points. These companies typically use ready-made SaaS-type cloud HR platforms instead of their own developments, have implemented basic CV screening automation through candidate tracking systems with machine learning elements, and have deployed chatbots to handle typical employee requests about work schedules and document processing procedures. However, they have not yet moved on to advanced predictive analytics and personalised staff development systems, which require significant investment in collecting and structuring employee data. The main barrier to further progress for this group is the lack of analytical skills among HR specialists and the resistance of line managers to changing their usual procedures for making personnel decisions based on intuition and personal experience [5].

The "Observers" cluster includes 50 companies, or 33% of the sample, which are in the early stages of digital transformation of HR processes, with an implementation level of 3.97 to 4.44 points and an average of 4.21 points. These companies are experimenting with individual recruitment automation tools by posting vacancies on specialised platforms with basic CV filtering functions based on keywords. They use electronic document management to formalise employment relationships, but have not yet created a comprehensive ecosystem of AI tools for human resource management. The main barriers for this group are limited financial resources for the acquisition and implementation of technologies, with an average budget for HR digitalisation of less than 10,000 roubles per employee per year. a shortage of qualified data and analytics specialists on the staff of enterprises, with only 23% of companies in this cluster having a dedicated IT specialist, as well as resistance to

change from line managers and rank-and-file employees who fear the replacement of human labour by automated systems and the dehumanisation of the working environment [1].

The "Sceptics" cluster accounts for 20% of the sample, or 30 enterprises, and is characterised by a minimal level of digitalisation of personnel management, with an average score of 2.17 out of a possible ten on the comprehensive index. These enterprises either do not use artificial intelligence technologies in HR practices at all, limiting themselves to traditional methods of recruitment through personal recommendations and advertisements in local media, or they use only the most basic tools, such as spreadsheets for recording working hours and calculating salaries, without elements of machine learning or predictive analytics. The low level of implementation is associated not only with objective financial and technological constraints, but also with subjective factors, including the scepticism of owners and top managers about the potential benefits of digitalisation, a conservative organisational culture focused on preserving proven working methods, distrust of automated decision-making systems involving people, and concerns about the confidentiality of employees' personal data when using cloud services. In order to involve this group in the digital transformation process, special educational programmes for SME owners are needed, demonstrating specific examples of the economic efficiency of AI technology implementation with a short payback period, as well as mechanisms for state financial support for pilot projects with risk sharing between the enterprise and the supporting organisation (https://www.greatplacetowork.com/resources/blog/100-best-training-workforce-ai (accessed: 17.01.2026)).

The ARIMA forecast model with parameters two, one, one demonstrates good quality of fit to historical data with an average absolute percentage error of 4.73%, which is considered acceptable for time series of economic indicators with high volatility, with the forecast for the period from 2025 to 2029 showing a continuation of the upward trend in the adoption of artificial intelligence technologies in the HR practices of SMEs in light industry, with an expected level of 51.3% by the end of the forecast period, representing an increase of 13.3 percentage points compared to the 2024 level, with a 95% confidence interval for the 2029 forecast ranging from 43.8% to 58.9%, reflecting the statistical uncertainty of estimates and the potential impact of unforeseen factors such as changes in the regulatory environment, macroeconomic shocks or technological breakthroughs that could accelerate or slow down the sector's digital transformation process (https://www.techclass.com/resources/learning-and-development-articles/ai-in-workplace-6-tools-changing-how-we-work (accessed: 17.01.2026)).

A scenario analysis with an optimistic option, assuming a 15% acceleration in the pace of adoption relative to the baseline forecast due to active government support for the digitalisation of SMEs and the emergence of more affordable domestic AI platforms, shows the possibility of reaching a level of 59% by 2029, while a pessimistic scenario with a 15% slowdown due to macroeconomic instability and investment shortages predicts a level of only 43.6%, with a 15.5 percentage point range between the scenarios highlighting the critical importance of policy decisions to support the sector's digital transformation and create favourable conditions for investment in human capital development and technological infrastructure for enterprises [7, 10].

The study has several limitations. First, the analysis relies on secondary data obtained from published studies and industry reports rather than primary data collected directly from enterprises. Second, the modelling results reflect general trends identified in international practice and may vary depending on the specific characteristics of individual enterprises. Future research may focus on conducting surveys and interviews with managers and HR specialists of small and medium-sized light industry enterprises in order to validate the proposed models using primary empirical data.

Conclusions

The study demonstrates that the successful implementation of artificial intelligence technologies in HR management in small and medium-sized enterprises in the light industry depends on a combination of financial, technological, organisational, and competence-re-

lated factors. The strongest effects are associated with investments in digitalisation, internal technological support, staff training, and access to cloud-based HR solutions.

For small and medium-sized enterprises in the light industry, the most accessible and economically justified AI solutions include recruitment automation tools, HR chatbots, cloud-based HR platforms and adaptive employee training systems. These technologies are particularly relevant in addressing labour shortages, reducing staff turnover, supporting workforce adaptation and maintaining production quality under conditions of limited financial and organisational resources.

The findings also show that AI adoption priorities should be differentiated. For SMEs with limited resources, the most feasible entry points are chatbots and recruitment automation, whereas more advanced solutions such as predictive turnover analytics require stronger data, infrastructure, and managerial maturity.

The results of factor and cluster analysis confirm that SMEs in the sector differ substantially in their readiness for AI-based HR transformation. Therefore, managerial strategies and policy measures should be adapted to the digital maturity level of the enterprise rather than applied uniformly across the sector.

The forecast analysis indicates that AI adoption in HR will continue to grow over the medium term, although the pace of this process will depend on institutional support, the availability of affordable technologies, and the ability of firms to integrate digital solutions into broader organisational transformation processes.

REFERENCES

1. *Alaverdov A.R.* Key features of HR management in small businesses and their consideration in management practice // Modern Competition. 2023. Vol. 17. No. 2. Pp. 83…94.
2. *Nguyen Tuan Anh.* The Impact of the AI Era on Human Resource Management in Small and Medium-Sized Enterprises // Sustainable Startup and Innovation. 2025. Vol. 1, Issue 2.
3. *Szedlak C., Poetters P., Leyendecker B.* Application of Artificial Intelligence In Small and Medium-Sized Enterprises // Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA. 2020. P. 1574…1583.
4. *Eftimov L., Kitanovikj B.* Artificial Intelligence-Driven HR Practices in SMEs: A Prisma-Compliant Scoping Literature Review // 9th International Scientific-Business Conference LIMEN 2023 – Selected Papers. 2023. P. 13…20.
5. *Oborin M.S., Sheresheva M.Yu., Mirakyan A.G.* Digitalisation in Human Resource Management at Russian Industrial Enterprises // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2024. Vol. 17, No. 12. P. 2297…2309.
6. *Rumyantsev E.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Miroshnichenko D.A.* Applications of artificial intelligence in the light industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 5 (413). Pp. 5…13.
7. *Shirokovskikh S.A.* Digital technologies in the system of modern human resource management models of an industrial company (corporation) //Scientific Bulletin: Finance, Banks, Investments. 2020. No. 4. Pp. 168…175.
8. *Kalinovskaya I.N., Zavyalova A.O.* Areas of application of artificial intelligence in the organisation of production at light industry enterprises // Materials and Technologies. 2020. No. 1 (5). Pp. 50…56.
9. *Shakhova I.Y. etc*. Usage prospects of digital technologies in the textile industry// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 5 (419). P. 115…121.
10. *Abbas O. etc*. The future of work in textiles: balancing automation and human capital// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 3 (417). P.32…42.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алавердов А.Р.* Ключевые особенности управления персоналом в субъектах малого бизнеса и их учет в практике менеджмента // Современная конкуренция. 2023. Т. 17, № 2. С. 83…94.
2. *Nguyen Tuan Anh*. The Impact of the AI Era on Human Resource Management in Small and Medium-Sized Enterprises // Sustainable Startup and Innovation. 2025. Vol. 1. Issue 2.
3. *Szedlak C., Poetters P., Leyendecker B.* Application of Artificial Intelligence In Small and Medium-Sized Enterprises // Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA. 2020. P. 1574…1583.
4. *Eftimov L., Kitanovikj B.* Artificial Intelligence-Driven HR Practices in SMEs: A Prisma-Compliant Scoping Literature Review // 9th International Scientific-Business Conference LIMEN 2023 – Selected Papers. 2023. P. 13…20.
5. *Оборин М.С., Шерешева М.Ю., Миракян А.Г.* Цифровизация в управлении человеческими ресурсами на российских промышленных предприятиях // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2024. Vol. 17. No. 12. P. 2297…2309.
6. *Румянцев Е.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Мирошниченко Д.А.* Направления приме-

нения искусственного интеллекта в легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 5 (413). С. 5…13.

7. *Широковских С.А.* Цифровые технологии в системе современных моделей управления человеческими ресурсами промышленной компании (корпорации) // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2020. № 4. С. 168…175.

8. *Калиновская И.Н., Завьялова А.О.* Области применения искусственного интеллекта в организации производства на предприятиях легкой промышленности // Материалы и технологии. 2020. № 1 (5). С. 50…56.

9. *Шахова И.Ю. и др*. Перспективы использования цифровых технологий в текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5 (419). С. 115…121.

10. *Аббас О. и др*. Будущее труда в текстильной промышленности: баланс между автоматизацией и человеческим капиталом // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 3 (417). С. 32…42.

Рекомендована Советом экономического факультета КРСУ. Поступила 13.02.26.

УДК 655.3.022.36+543.42
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_180

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СОСТАВА ВОДОРАСТВОРИМОЙ КРАСКИ ДЛЯ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ

APPLICATION OF INFRARED SPECTROSCOPY METHODS IN THE STUDY OF WATER-SOLUBLE INK COMPOSITION FOR INKJET PRINTING

Х.А. БАБАХАНОВА, Н.Ж. САДРИДДИНОВА, Д.Б. ИРМАТОВ, Д.И. АБДИРАХМАНОВА, К.М. КАБИЛОВА

Kh.A. BABAKHANOVA, N.Zh. SADRIDDINOVA, D.B. IRMATOV, D.I. ABDIRAKHMANOVA, K.M. KABILOVA

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: halima300@inbox.ru

В работе предложено применение метода инфракрасной спектроскопии для объективного контроля состава водорастворимой краски, используемой для струйной печати. Перспективность струйной печати обусловлена отсутствием затрат на изготовление печатных форм, высоким уровнем автоматизации, воспроизводимостью процессов, а также снижением экологической нагрузки за счет уменьшения выбросов летучих органических соединений и внедрения систем рециркуляции красок. В современном полиграфическом производстве в качестве расходных материалов применяются как водорастворимые, так и пигментные краски. В работе исследованы свойства водорастворимой краски нового состава с целью расширения номенклатуры расходных материалов, повышения технологической независимости полиграфической отрасли, снижения импортозависимости и обеспечения устойчивого качества продукции при массовом применении полиграфического производства. Для идентификации водорастворимой краски нового состава использован метод инфракрасной спектроскопии. Основой метода является использование интерферометра Майкельсона, позволяющего регистрировать полный спектр одновременно и существенно сокращать время анализа по сравнению с традиционной дисперсионной инфракрасной спектроскопией. Для оценки эффективности применения водорастворимой

краски нового состава проведена печать тестовых изображений на струйном принтере Epson Eco Tank L3200. Эксплуатационные свойства водорастворимой краски оценивались денситометрическим методом по значениям оптической плотности и коэффициента контраста. Анализ инфракрасных спектров показал, что водорастворимые краски имеют одинаковый набор функциональных групп и одинаковое строение. Сравнение градационных кривых и коэффициентов контраста показало, что новый состав обеспечивает практически аналогичную передачу градаций, высокую стабильность печати и воспроизводимость цветовых характеристик, что подтверждает его пригодность для применения в современных струйных технологиях полиграфии. Применение метода инфракрасной спектроскопии для экспресс-анализа состава водорастворимой краски является перспективным направлением, позволяющим контролировать однородность и химическую стабильность краски, что делает его эффективным инструментом при разработке и оптимизации составов новых материалов.

This paper proposes the use of infrared spectroscopy for the objective control of water-soluble ink composition used for inkjet printing. The potential of inkjet printing lies in the absence of printing plate manufacturing costs, a high level of automation, process reproducibility, and a reduced environmental impact due to the reduction of volatile organic compound emissions and the implementation of ink recycling systems. In modern printing production, both water-soluble and pigment inks are used as consumables. This paper investigates the properties of a new water-soluble ink composition with the aim of expanding the range of consumables, increasing the technological independence of the printing industry, reducing import dependence, and ensuring consistent product quality during mass printing. Infrared spectroscopy was used to identify the new water-soluble ink composition. The method is based on the use of a Michelson interferometer, which allows for the simultaneous recording of a full spectrum and significantly reduces analysis time compared to traditional dispersive infrared spectroscopy. To evaluate the effectiveness of a new water-soluble ink formulation, test images were printed on an Epson Eco Tank L3200 inkjet printer. The performance properties of the water-soluble ink were evaluated using densitometric methods for optical density and contrast ratio. Infrared spectral analysis revealed that the water-soluble inks share the same functional groups and structure. A comparison of gradation curves and contrast ratios demonstrated that the new formulation provides virtually identical gradation rendering, high print stability, and reproducible color characteristics, confirming its suitability for use in modern inkjet printing technologies. Using infrared spectroscopy for rapid analysis of water-soluble ink composition is a promising approach for monitoring the homogeneity and chemical stability of ink, making it an effective tool for developing and optimizing new materials.

Ключевые слова: водорастворимая краска, идентификация, инфракрасная спектроскопия, химический состав, оптическая плотность, коэффициент контраста, денситометрия, эксплуатационные свойства.

Keywords: water-soluble paint, identification, infrared spectroscopy, chemical composition, optical density, contrast coefficient, densitometry, performance properties.

Введение

Разработка новых материалов, соответствующих современным технологическим процессам, требует комплексного научного обоснования их состава и структуры, для чего широко используется инфракрасная спектроскопия [1…9]. Данный метод позволяет идентифицировать функциональные группы компонентов, контролировать однородность и химическую стабильность, что делает его эффективным инструментом при разработке и оптимизации составов новых материалов.

Струйная печать в настоящее время пользуется высоким спросом благодаря своей технологической гибкости, отсутствию необходимости в печатных формах, высокой степени автоматизации, возможности печати на широком спектре материалов, экологичности за счет низкого уровня летучих органических соединений и внедрения систем рециркуляции чернил, а также перспективам применения в промышленном, упаковочном и текстильном секторах [10…14]. По данным статистики, рост мирового рынка струйной печати составляет 5…9 % [15…17]. Рост обусловлен цифровизацией производства, повышением скорости и разрешения струйных систем (до 1200…2400 dpi и 100…300 м/мин), а также постоянным расширением ассортимента водных, латексных и УФ-отверждаемых красок, позволяющих печатать на широком наборе материалов.

Вместе с тем широкий ассортимент оборудования и запечатываемых материалов обусловливают необходимость разработки новых композиционных систем на основе альтернативных ресурсов. В этих условиях создание новых поколений функциональных и экологичных красок является важной технологической задачей, направленной на повышение совместимости с различными субстратами, снижение себестоимости и улучшение реологических и эксплуатационных свойств [11, 12, 14, 19, 20].

Целью настоящей работы является изучение возможности применения ИК-спектроскопии и денситометрии для исследования состава и эксплуатационных свойств водорастворимой краски для струйной печати.

Объекты и методы исследования

Для исследования состава красок, предназначенных для струйной печати, целесообразно применение одного из основных аналитических методов – инфракрасной (ИК) спектроскопии. Данный метод обеспечивает выявление функциональных групп органических и неорганических соединений, определение типов пигментов, связующих и функциональных добавок, а также позволяет контролировать химическую стабильность и однородность композиции. Применение ИК-спектроскопии обеспечивает объективную характеристику компонентного состава и является необходимым этапом при разработке, формулировании и последующей оптимизации новых красочных систем.

Использованный в данной работе FTIR спектрометр является аналитическим прибором, который измеряет поглощение инфракрасного излучения веществом. Инфракрасные волны, вызывая колебания молекул, дают уникальный для каждой молекулы спектр поглощения, который используется для ее идентификации. FTIR спектрометр использует интерферометр Майкельсона, который позволяет регистрировать полный спектр одновременно, значительно ускоряя анализ, что невозможно при использовании традиционной дисперсионной ИК-спектроскопии. На рис. 1 представлена принципиальная схема ИК Фурье спектрометра [18].

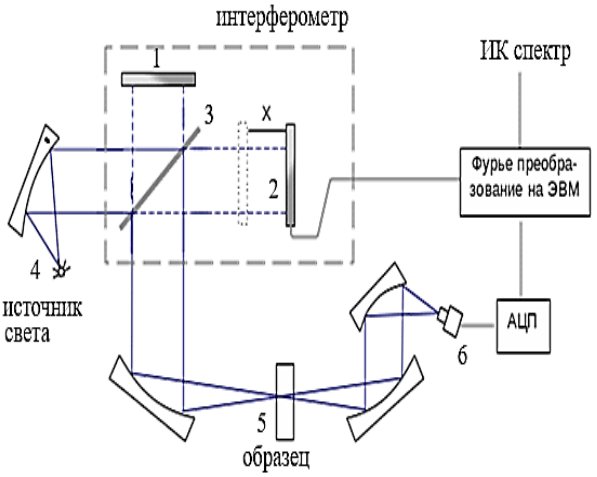


Рис. 1

Исходный монохроматический поток излучения разделяется на два перпендикулярных луча полупрозрачным зеркалом (3). Один из лучей отражается от фиксированного зеркала (1), второй – от подвижного (2), положение которого изменяет оптическую разность хода. Отраженные лучи снова совмещаются на полупрозрачном зеркале, после чего часть света направляется к источнику (4), а часть – к кюветному отделению (5) и далее к детектору (6). Изменение интенсивности сигнала на детекторе в зависимости от положения подвижного зеркала формирует интерферограмму, которая после преобразования Фурье дает спектр поглощения образца [9…12]. ИК-спектры образца были зарегистрированы в диапазоне 4000…400 $см^{-1}$

Широкое применение в струйной печати водорастворимых красок по сравнению с пигментными характеризуется рядом преимуществ, включая более высокую яркость и насыщенность цветопередачи, а также относительно низкую себестоимость. С целью расширения ассортимента водорастворимых красок и снижения зависимости от импортных расходных материалов для струйной печати был разработан новый композиционный состав. Отличительной особенностью данного состава является использование альтернативных компонентов, в том числе эфиральдегидной фракции, глицерина и карбоксиметилцеллюлозы, обеспечивающих формирование требуемых физико-химических и эксплуатационных свойств краски.

В качестве объектов исследования использованы экспериментальный состав водорастворимой краски и водорастворимая краска промышленного производства (Китай) для струйной печати.

Для оценки эффективности применения водорастворимой краски нового состава произведена печать на Epson Eco Tank L3200 – многофункциональном устройстве, включающем в себя функции принтера, сканера и копира.

Для оценки эксплуатационных свойств краски применялся метод денситометрии. Принцип работы спектроденситометра основан на измерении интенсивности отраженного или пропущенного света через образец при заданных длинах волн, что позволяет количественно оценивать концентрацию и распределение красителя на поверхности по значениям оптической плотности. Применение спектроденситометра обеспечивает высокоточную, объективную и воспроизводимую оценку печатного изображения, позволяя анализировать равномерность покрытия и стабильность передачи красителя на поверхности субстрата.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа получены ИК-спектры образцов, которые представлены на рис. 2. Сравнение ИК-спектров водорастворимой краски нового состава (рис. 2, а) и водорастворимой краски промышленного производства (Китай) (рис. 2, б), показывает, что составы имеют одинаковый набор функциональных групп.

В водорастворимой краске нового состава (рис. 2, а) полоса поглощения в области ~3400 $см^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям гидроксильных групп (ОН-групп), характерных для водорастворимых полимеров и неорганических солей металлов, применяемых в качестве стабилизаторов и эмульгаторов, выражена менее отчетливо. Это может свидетельствовать о сниженной концентрации гидрофильных функциональных групп в материале. Основной пик наблюдается в области около 1650 $см^{-1}$, что может указывать на присутствие кислотных остатков либо амидных производных. Низкая интенсивность полосы в районе 1000 $см^{-1}$ подтверждает отсутствие значительного количества минеральных включений, характерных для материалов низкого качества, в частности для некоторых китайских аналогов.

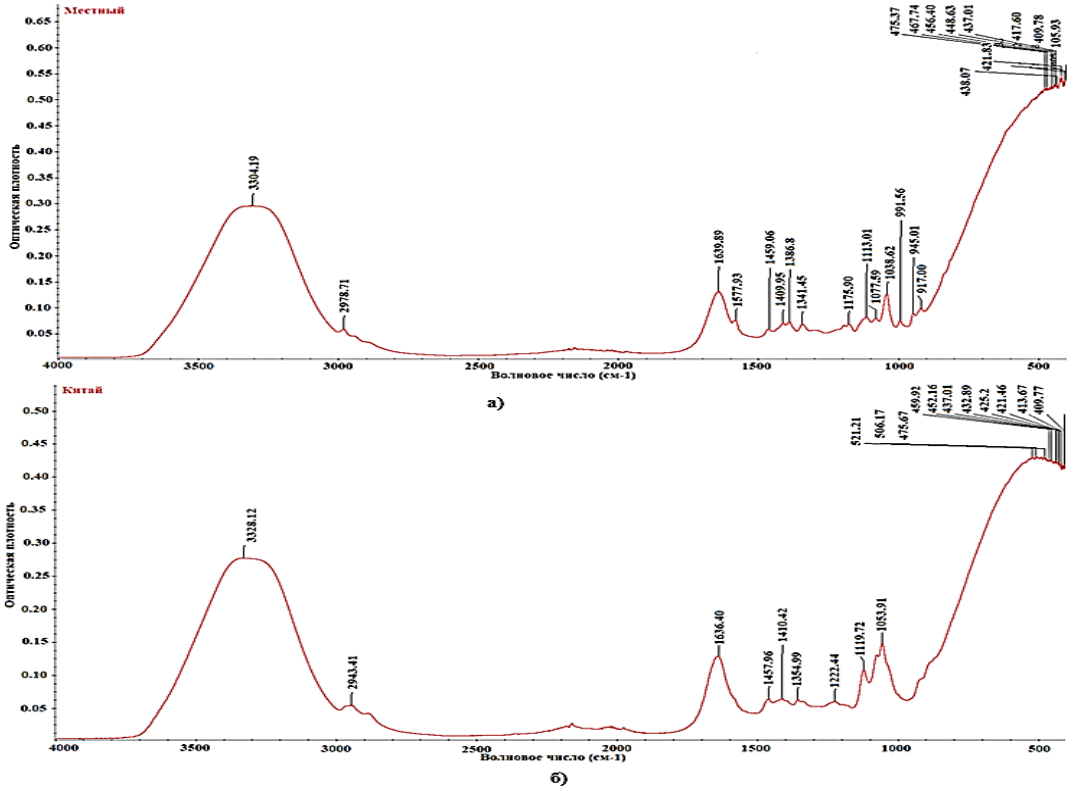


Рис. 2

На ИК-спектрах водорастворимой краски промышленного производства (Китай) (рис. 2, б), использованной для сравнительного анализа, отчетливо выраженные полосы в области около 3400 $см^{-1}$ свидетельствуют о присутствии гидроксильных групп (ОН-групп). Интенсивные пики в диапазоне 1600…1700 $см^{-1}$ указывают на наличие карбонильных групп (С=О), характерных для акриловых связующих материалов. Сигналы в районе 1000 $см^{-1}$ могут отражать присутствие сульфатов кальция или других минеральных добавок, выступающих в роли наполнителей [3…5]. На основании рассмотренных экспериментальных данных, которые включают ИК-спектры водорастворимой краски нового состава (местной) и промышленного производства (Китай), можно утверждать, что вещества имеют одинаковый набор функциональных групп и, с высокой вероятностью, одинаковое строение.

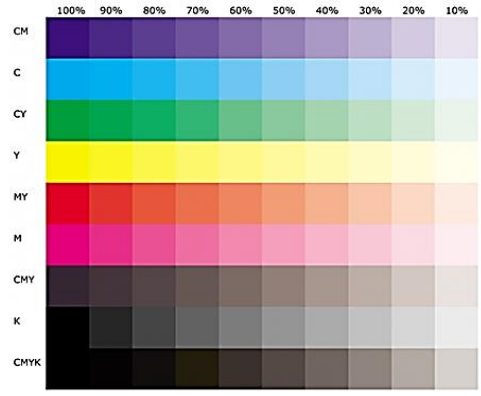
Для оценки влияния свойств водорастворимой краски на качество струйной печати получены оттиски на струйном принтере Epson Eco Tank L3200 на четырех видах бумаг, имеющих отличие в поверхностной обработке и плотности (табл. 1).

Таблица 1

№	Вид и наименование бумаги	Масса, $г/м^2$	Толщина, мкм	Белизна, %	Влажность, %
1	Офсетная – Снегурочка	80	100...110	98...102	4,0...5,5
2	2-сторонняя глянцевая фотобумага	130	150...180	95...100	4,0...6,0
3	Полуглянцевая – Epson Premium Semigloss	130	140...170	95...104	4,0...6,0
4	Матовая – Epson Matte	140	180...200	90...100	5,0...7,0

Для исследования эксплуатационных свойств водорастворимой краски и оценки качества градационной точности и цветовоспроизведения используются специальные контрольные шкалы, включающие поля основной триады цветов (CMYK),

каждое из которых характеризует относительную площадь растровых точек от 0 до 100% (рис. 3, а).



а)



б)

Рис. 3

По данным оптической плотности построены градационные кривые, по которым оценивали характер перехода градаций от светлого до темного тона (рис. 4…6). На рис. 4 представлена градационная кривая для голубого цвета при использовании водорастворимой краски Epson 103 (производство Китая) (а) и водорастворимой краски нового состава (б).

Оценка проводится на основе измерения оптической плотности с использованием спектроденситометра ET-120HD, работающего при геометрии освещению 45/0 и стандартизированных условиях согласно ISO 13655. Полученные значения оптической плотности характеризуют толщину красочного слоя и косвенно отражают процессы адсорбции и диффузии красителя в структуру запечатываемого материала.

Оптическую плотность каждого поля градационной шкалы (рис. 3, а) измеряли в среднем в пяти точках с помощью спектроденситометра (рис. 3, б).

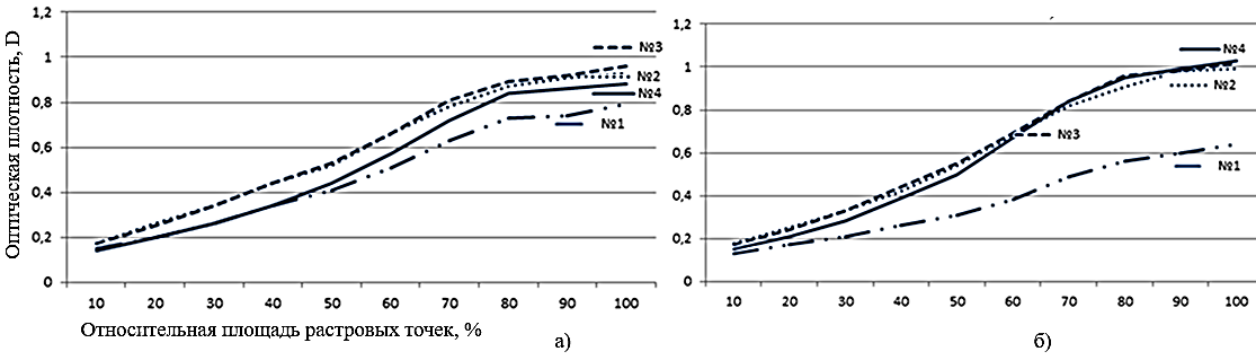


Рис. 4

Анализ градационных кривых (рис. 4) показал, что при использовании краски промышленного производства среди исследуемых образцов наиболее высокая насыщенность голубого цвета наблюдается на бумаге №3. При применении краски нового состава на трех типах исследуемых бумаг (за исключением офсетной) фиксируется практически идентичная передача градаций, что указывает на повышенную стабильность цветопередачи данного состава независимо от характеристик запечатываемого материала.

На рис. 5 представлены градационная кривая для пурпурного цвета, на рис. 6 – для желтого цвета при использовании водорастворимой краски Epson 103 (производство Китая) (а) и водорастворимой краски нового состава (б).

Градационные кривые, представленные на рис. 5, 6, отражают особенности передачи градаций пурпурного и желтого цветов. В области светов и полутонов при относительной площади растровых элементов от 0 до 70 % наблюдается равномерный и плавный переход тонов, что свидетельствует о стабильной передаче градаций. Дальнейший резкий подъем кривых указывает на потерю градаций в тенях и темных участках изображения, что связано со сни-

жением эффективности работы печатной головки струйного принтера при воспроизведении мелких растровых элементов в области высокой оптической плотности. Среди исследуемых образцов бумага №4 демонстрирует наиболее стабильные показатели, что, вероятно, обусловлено ее матовой поверхностью, обеспечивающей более равномерное впитывание краски и снижение величины точечного растискивания независимо от состава применяемой водорастворимой краски.

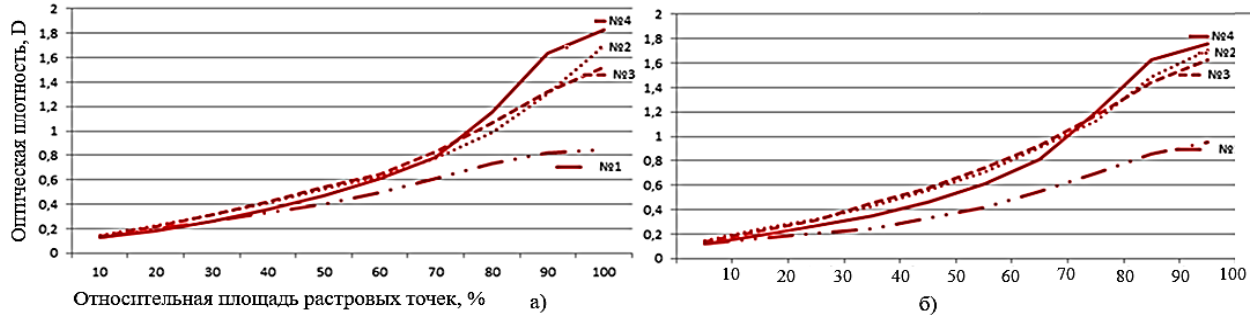


Рис. 5

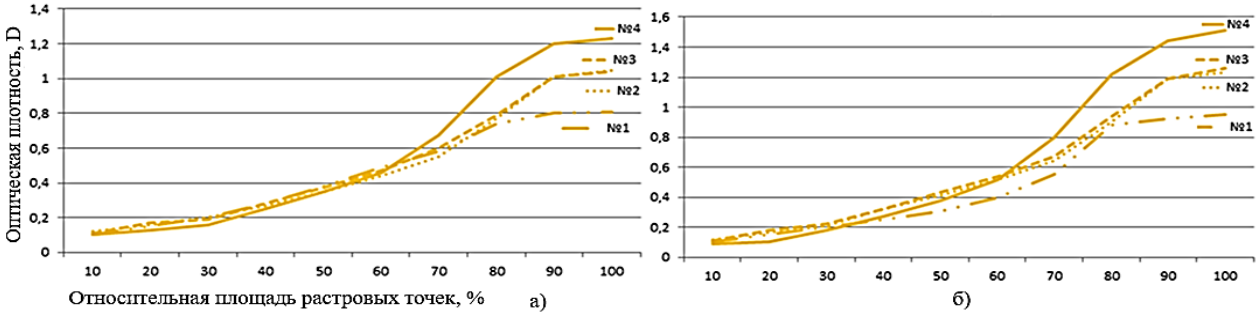


Рис. 6

Таким образом, эксплуатационные свойства водорастворимых чернил характеризуются удовлетворительной передачей градаций в светах и полутонах, однако в области высоких оптических плотностей наблюдается ухудшение воспроизведения тонов. Наилучшие показатели достигаются при использовании носителей с матовой поверхностью, обеспечивающих оптимальные условия адсорбции и фиксации красителя, что повышает стабильность цветопередачи и прочность закрепления краски.

Для определения степени влияния состава водорастворимой краски на градационную точность в тенях растровых изображений вычислили показатель контраста печати – коэффициент Ширмера–Ренцера – при измерении зональных оптических плотностей 100% и 80% элементов по следующей формуле:

$$K = \frac{D_p - D_r}{D_p},$$

где K – коэффициент контраста; D_r – интегральная оптическая плотность растрового поля; D_p – оптическая плотность сплошного красочного слоя.

Значения оптической плотности и коэффициента контраста на оттисках, отпечатанных водорастворимой краской Epson 103 (водорастворимой краской нового состава) представлены в табл. 2.

По данным табл. 2 можно оценить не только качество воспроизведения теневых участков изображения, работу печатной головки струйного принтера и влияние состава водорастворимых красок, но и характер их взаимодействия с поверхностью печатного материала. Коэффициент контраста голубого цвета для большинства исследованных бумаг при использовании водорастворимых красок нового состава и краски Epson 103 близок к нулю, что свидетельствует о полном затекании красочного слоя в пробельные элементы растрового поля и значительном увеличении размеров растровых точек.

Таблица 2

Относительная площадь растровых точек	Оптическая плотность оттисков для цветов			
	Cyan (Голубая)	Magenta (Пурпурная)	Yellow (Желтая)	Black (Черная)
№1 – офсетная бумага 80 г/м^2				
80 %	0,73 (0,56)	0,73 (0,70)	0,74 (0,88)	0,94 (0,83)
100 %	0,79 (0,64)	0,85 (0,95)	0,81 (0,95)	1,21 (0.94)
Коэффициент контраста	**0,08 (0.13)**	**0,14 (0.26)**	**0,09 (0,07)**	**0,22 (0,12)**
Разница, %	**62,5**	**85,71**	**-22,22**	**-45,45**
№2 – двусторонняя глянцевая фотобумага 130 г/м^2				
80 %	0,87 (0,91)	0,99 (1,13)	0,77 (0,90)	1,13 (1,28)
100 %	0,93 (0,99)	1,70 (1,49)	1,05 (1,23)	1,91 (1,76)
Коэффициент контраста	**0,06 (0,08)**	**0,42 (0.24)**	**0,27 (0,27)**	**0,41 (0,27)**
Разница, %	**33,3**	**-42,86**	**-**	**-34,15**
№3 – бумага Epson Premium semigloss 130 г/м^2				
80 %	0,89 (0,96)	1,07 (1,17)	0,79 (0,94)	1,17 (1,24)
100 %	0,96 (1.02)	1,52 (1,63)	1,04 (1,26)	1,70 (1,58)
Коэффициент контраста	**0,07 (0,06)**	**0,30 (0,28)**	**0,24 (0,25)**	**0,31 (0,21)**
Разница, %	**-14,29**	**-6,67**	**4,17**	**-32,26**
№4 – бумага Epson Matte 140 г/м^2				
80 %	0,84 (0,95)	1,15 (1,20)	1,01 (1,22)	1,37 (1,40)
100 %	0,88 (1,03)	1,83 (1,76)	1.23 (1,51)	2,11(1,82)
Коэффициент контраста	**0.05 (0,08)**	**0.37 (0,31)**	**0.18 (0,19)**	**0.35 (0,23)**
Разница, %	**60**	**-16,22**	**5,56**	**-34,29**

Сравнительный анализ влияния нового состава водорастворимой краски на градационную точность показал, что наибольшее отклонение в тенях относительно краски Epson 103 (производство Китая) наблюдается при печати на офсетной бумаге № 1: среднее значение составляет 54 %, при этом максимальная потеря фиксируется в области пурпурного цвета. При печати на бумаге № 2 качество воспроизведения теней улучшается: среднее отклонение уменьшается до 27,6 %, а наибольшие расхождения вновь отмечаются в пурпурном цвете.

На бумаге № 3 применение водорастворимой краски нового состава обеспечивает наиболее точное воспроизведение теней: коэффициент контраста находится в диапазоне 0,21…0,28, что соответствует нормативно допустимым значениям (0,20…0,25). Относительное расхождение составляет 14,34 %, при этом максимальная потеря наблюдается в черной краске. На бумаге № 4 среднее отклонение достигает 29,01 %.

Полученные данные указывают на существенную зависимость стабильности тонопередачи от химического состава водорастворимой краски и характеристик печатной бумаги. Таким образом, при струйной печати минимальные потери в тенях и наиболее стабильная градационная передача достигаются при использовании бумаги № 3 – Epson Premium Semigloss 130 г/м².

Заключение

Сравнение инфракрасных спектров экспериментального состава водорастворимой краски и краски промышленного производства показало, что составы имеют одинаковый набор функциональных групп и одинаковое строение. Сравнительный анализ градационных кривых и значений коэффициента контраста подтвердил возможность использования водорастворимой краски нового состава, так как обеспечивается стабильная передача градаций на большинстве исследуемых бумаг и данная краска сопоставима по качеству с промышленной. Наименьшая насыщенность голубого цвета отмечена на бумаге № 3, а наиболее устойчивые результаты по всем цветам – на бумаге № 4 благодаря ее матовой поверхности. Потеря градаций в тенях связана с ограничениями работы печатной головки

при высоких оптических плотностях. Полученные результаты подтверждают высокую информативность инфракрасной спектроскопии как метода экспресс-анализа состава исследуемых красок, а также эффективность денситометрии при оценке их эксплуатационных характеристик. Совокупное применение указанных методов позволяет рассматривать их как надежный инструмент при разработке, исследовании и оптимизации составов новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабаханова Х.А., Абдухалилова М.Г., Хакназарова О.Д., Бабаханова М.А.* Применение ИК-спектроскопии для исследования состава увлажняющего раствора // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №4 (412). С. 130…135. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_4_130
2. *Pavia D. L., Lampman G. M., Kriz G. S.* Introduction to Spectroscopy. 5th ed. Boston: Cengage Learning. 2015. P. 784.
3. *Соколова М.П., Бондаренко В.М.* Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 2014. С. 256.
4. *Беленький М.А.* Введение в спектроскопию органических соединений. СПб.: Питер, 2012. С. 368.
5. *Kelley A. M.* Fourier-transform spectroscopy and its role in molecular structure analysis // Applied Spectroscopy Reviews. 2010. V. 45. P. 1…19. – https://doi.org/10.1080/05704920903435712
6. *Комов А.П., Власова И.В., Терехова Е.Н.* Применение ИК спектроскопии многократно нарушенного полного внутреннего отражения для классификации различных объектов // Вестник Омского университета. 2018. Т. 23, № 1. С. 26…34.
7. *Фатхуллина Д.Г., Жукова Е.В., Маргарянц Н.Б.* Исследование слоя красителя методом спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16, № 3. С. 416…421. – https://doi.org/10.17586/2226-1494-2016-16-3-416-421
8. *Лаптинский К.А., Буриков С.А., Сарманова О.Э. и др.* Диагностика вредных примесей в водных средах с помощью спектроскопических методов и алгоритмов машинного обучения // Оптика и спектроскопия. 2023. Т. 131, № 6. С. 810…816. – https://doi.org/10.21883/OS.2023.06.54927.49-23
9. *Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Бабаханова М.А. и др.* Применение методов ИК-спектроскопии в исследовании составов для проклейки бумаги // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22, № 6. С. 1048…1054. – https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-6-1048-1054
10. *Cao T., Yang Z., Zhang H., Wang Y.* Inkjet printing quality improvement research progress: A review // Heliyon. 2024. V. 10. N. 7. P. 30163. – https://doi.org /10.1016/j.heliyon.2024.e30163
11. *Qiu X., Gong X., Zhang X., Zheng W.* Ink-Jet Printing towards Ultra-High Resolution: A Review // Coatings. 2022. V. 12. N. 12. P. 1893. – https://doi.org/10.3390/coatings12121893
12. *Liu Y., Zhu H., Xing L. etc.* Recent advances in inkjet-printing technologies for flexible/wearable electronics // Nanoscale. 2023. V. 15. P. 1…23. – https://doi.org/10.1039/D2NR05649F
13. *Takeuchi S., Mitsuhashi T., Tarui M.* Inkjet Printing Technology in Textile Printing Market // Journal of the Imaging Society of Japan. 2016. V. 55. N. 5. P. 619…624. – https://doi.org/10.11370/isj.55.619
14. *Alamán J., Alicante R., Peña J. I., Sánchez-Somolinos C.* Inkjet Printing of Functional Materials for Optical and Photonic Applications // Materials. 2016. V. 9. N. 11. P. 910. – https://doi.org/10.3390/ma9110910
15. Future Market Insights. Inkjet Printers Market Report. FMI. 2024-2025.
16. Grand View Research. Inkjet Printing Market Size, Share & Trends Analysis Report. 2024.
17. Mordor Intelligence. Inkjet Printing Market - Growth, Trends, Forecasts (2025–2030). 2024.
18. *Тарасевич Б. Н.* Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. М., 2012. С. 22.
19. *Лапина Е.А., Юсупова Ш.А., Чешкова А.В. и др.* Влияние подготовки хлопчатобумажных тканей на качество цифровой прямой струйной печати активными чернилами // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1 (415). С. 152…158. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_1_152
20. *Умарова А.С., Лапина Е.А., Чешкова А.В. и др.* Влияние цифровых настроек печатного рисунка и качества полиэфирных тканей на результат сублимационной печати с применением текстильных принтеров // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4 (418). С. 163…169. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_163

REFERENCES

1. *Babakhanova Kh.A., Abdukhalilova M.G., Xaknazarova O.D., Babakhanova M.A.* Application of ir spectroscopy for studying the composition of moisturizing solution // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 4 (412). P. 130…135. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_4_130
2. *Pavia D.L., Lampman G.M., Kriz G.S.* Introduction to Spectroscopy. 5th ed. Boston: Cengage Learning, 2015, pp. 784.
3. *Sokolova M.P., Bondarenko V.M.* Infrared Spectroscopy of Polymers. Moscow: Khimiya, 2014, pp. 256.
4. *Belenkiy M.A.* Introduction to Spectroscopy of Organic Compounds. St. Petersburg: Piter, 2012, pp. 368.
5. *Kelley A.M.* Fourier-transform spectroscopy and its role in molecular structure analysis. Applied

Spectroscopy Reviews, 2010, vol. 45. pp. 1…19. – https://doi.org/10.1080/05704920903435712

6. *Komov A.P., Vlasova I.V., Terekhova E.N.* Application of FTIR Spectroscopy with Multiple Attenuated Total Reflection for Classification of Various Objects. Vestnik of Omsk University, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 26…34.

7. *Fatkhullina D.G., Zhukova E.V., Margaryants N.B.* Study of ink layer by method of attenuated total reflectance spectroscopy. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 416…421. – https://doi.org/10.17586/2226-1494-2016-16-3-416-421

8. *Laptinskiy K.A., Burikov S.A., Sarmanova O.E. etc.* Diagnosis of Harmful Impurities in Aqueous Media Using Spectroscopic Methods and Machine Learning Algorithms. Optics and Spectroscopy, 2023, vol. 131, no. 6, pp. 810…816. – https://doi.org/10.21883/OS.2023.06.54927.49-23

9. *Babakhanova Kh.A., Sadriddinov A.A., Babakhanova M.A. etc.* Application of FTIR Spectroscopy Methods in the Study of Sizing Compositions for Paper. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2022, vol. 22, no. 6, pp. 1048…1054. – https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-6-1048-1054

10. *Cao T., Yang Z., Zhang H., Wang Y.* Inkjet printing quality improvement research progress: A review. Heliyon, 2024, vol. 10, no. 7, pp. 30163. – https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30163

11. *Qiu X., Gong X., Zhang X., Zheng W.* Ink-Jet Printing towards Ultra-High Resolution: A Review. Coatings, 2022, vol. 12, no. 12, pp. 1893. – https://doi.org/10.3390/coatings12121893

12. *Liu Y., Zhu H., Xing L. etc.* Recent advances in inkjet-printing technologies for flexible/wearable electronics. Nanoscale, 2023, vol. 15, pp. 1…23. – https://doi.org/10.1039/D2NR05649F

13. *Takeuchi S., Mitsuhashi T., Tarui M.* Inkjet Printing Technology in Textile Printing Market. Journal of the Imaging Society of Japan, 2016, vol. 55, no. 5, pp. 619…624. – https://doi.org/10.11370/isj.55.619

14. *Alamán J., Alicante R., Peña J. I., Sánchez-Somolinos C.* Inkjet Printing of Functional Materials for Optical and Photonic Applications. Materials, 2016, vol. 9, no. 11, pp. 910. – https://doi.org/10.3390/ma9110910

15. Future Market Insights. Inkjet Printers Market Report. FMI. 2024-2025.

16. Grand View Research. Inkjet Printing Market Size, Share & Trends Analysis Report. 2024.

17. Mordor Intelligence. Inkjet Printing Market - Growth, Trends, Forecasts (2025–2030). 2024.

18. *Tarasevich B.N.* Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy: A Student Textbook, Moscow, 2012, pp. 22.

19. *Lapina E.A., Yusupova S.A., Cheshkova A.V. etc.* The effect of cotton fabric preparation on the quality of digital direct inkjet printing with active ink // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 1. P. 152…158. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_1_152

20. *Umarova A.S., Lapina E.A., Cheshkova A.V.* etc. Influence of digital print settings and polyester fabric quality on sublimation printing results using textile printers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4 (418). P. 163…169. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_163

Рекомендована кафедрой химической и полиграфической инженерии ТИТЛП. Поступила 20.04.26.

УДК 677.07
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_190

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

STUDY OF STERILIZATION INFLUENCE ON THE PHYSICAL-MECHANICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PACKAGING MATERIALS FOR MEDICAL DEVICES

П.К. ГАЛКИНА, М.С. ЛИСАНЕВИЧ, Р.Ю. ГАЛИМЗЯНОВА

P.K. GALKINA, M.S. LISANEVICH, R.YU. GALIMZYANOVA

**([1]ООО "Мегатехника",
[2]Казанский национальный исследовательский технологический университет)**

**([1]OOO Megatekhnika,
[2]Kazan National Research Technology University)**

E-mail: lisanevichms@gmail.com

В данной работе представлен сравнительный анализ основных характеристик влагопрочной бумаги, нетканого материала и материала Tyvec, используемых для изготовления стерилизационной упаковки.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования характеристик различных материалов до и после различных видов стерилизации: плазменного и парового. Анализ материалов упаковки позволил сделать следующие выводы. Наибольшей прочностью шва при расслаивании обладает стерилизационная упаковка из влагопрочной бумаги. Прочность клеевого шва для упаковки из нетканого материала типа СМС после стерилизации существенно снижается – на 34 %. Прочность влагопрочной бумаги выше прочности нетканых материалов на 35 %. Наиболее высокой прочностью при пространственном растяжении обладает материал Tyvec – его прочность примерно в 5 раз выше, чем у нетканого материала типа СМС и влагопрочной бумаги. Стерилизация не влияет на прочностные характеристики материалов. Наибольшее значение пылеворсоотделения имеет бумага. Плазменная стерилизация приводит к некоторому повышению пылеворсоотделения – на 17 %, паровая стерилизация – к увеличению числа корпий при деформации влагостойкой бумаги. По-видимому, это связано с тем, что высокая температура и влажность при паровой стерилизации приводят к разрушению структуры бумаги. Все материалы, как стерильные, так и нестерильные, по показателю чистоты в части инородных частиц находятся в норме.

This paper presents a comparative analysis of the main characteristics of wet-resistant paper, non-woven material and Tyvec material used to manufacture sterilization packaging.

During the work, experimental studies of the characteristics of various materials were conducted before and after various types of sterilization: plasma and steam. The analysis of the packaging materials allowed us to draw the following conclusions. The sterilization packaging made of wet-resistant paper has the highest seam strength during delamination. The strength of the adhesive seam for packaging made of non-woven material type SMS after sterilization is significantly reduced by

34%. The strength of wet-resistant paper is 35% higher than the strength of nonwoven materials. Tyvec has the highest strength under spatial extension - this material is approximately 5 times greater in strength under spatial extension than nonwoven material type SMS and wet-resistant paper. Sterilization does not affect the strength characteristics of the materials. The highest value of dust and lint separation is for paper. Plasma sterilization leads to a slight increase in dust and lint separation by 17%. Steam sterilization led to an increase in the number of lint during deformation of moisture-resistant paper. Apparently, this is due to the fact that high temperature and humidity during steam sterilization leads to the destruction of the paper structure. All materials, both sterile and non-sterile, are within the normal range in terms of foreign particle cleanliness.

Ключевые слова: пылеворсоотделение, упаковка, паропроницаемость, прочность, чистота, нетканые материалы, стерилизация, влагопрочная бумага, клеевые швы, испытательная машина, пленка.

Keywords: dust and lint removal, packaging, vapor permeability, strength, cleanliness, nonwoven materials, sterilization, wet-strength paper, adhesive seams, testing machine, film.

Введение

Обеспечение стерильности медицинских изделий является одной из фундаментальных задач современной медицины, напрямую влияющих на безопасность пациентов и эффективность лечебных процедур. Ключевую роль в поддержании стерильности играет упаковка медицинских изделий, которая выполняет функцию барьерного слоя, препятствующего проникновению микробных загрязнений, включая бактерии, вирусы и споры, внутрь упаковки и на поверхность изделия [1]. Современные стандарты предъявляют высокие требования к стерилизационной упаковке, включая механическую прочность, паропроницаемость и чистоту поверхности, что обеспечивает сохранность стерильности и безопасность последующего использования изделий [2, 3].

Несмотря на широкое применение различных материалов, таких как влагопрочная бумага и нетканые материалы Tyvek, отсутствуют комплексные сравнительные исследования их поведения под воздействием стерилизации с учетом изменений прочностных и функциональных характеристик. В частности, недостаточно изучены параметры разрывной нагрузки, прочности на растяжение, паропроницаемости, а также пылеворсоотделения и чистоты поверхности – факторы, критически важные для надежности упаковки при транспортировке и хранении, а также для минимизации риска контаминации стерильного поля.

Исследование основных механических и функциональных характеристик материалов стерилизационной упаковки приобретает особую актуальность в контексте повышения общей безопасности медицинских изделий. Полученные данные позволят оптимизировать выбор материалов и технологические процессы упаковки и стерилизации, что имеет существенное практическое значение как для медицинских учреждений, так и для производителей упаковочных материалов. Таким образом, проведение комплексного анализа свойств современных упаковочных материалов способствует развитию эффективных стратегий обеспечения стерильности и снижению рисков инфекционных осложнений в здравоохранении [4, 5].

Объект исследования:

- влагопрочная бумага с пленкой до и после стерилизации;
- материал Tyvek с пленкой до и после стерилизации;
- нетканый материал СМС с пленкой до и после стерилизации.

Методы стерилизации [6…10], рекомендованные для исследуемых типов упаковок, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал упаковки	Метод стерилизации
Влагопрочная бумага с пленкой	Паровой
Материал Tyvek с пленкой	Плазменный
Нетканый материал типа СМС с пленкой	Плазменный

Методы исследования:

- прочность при растяжении (разрывная нагрузка при одноосном растяжении) (EN 29073-3:1992 (ГОСТ Р 53226-2008; ISO 9073-3:1992), испытательная машина Zwicki-Line Z, производитель Zwick/Roell, Германия) [11];

- прочность материалов при пространственном растяжении (EN ISO 13938-1:1999; ГОСТ Р 53226-2008, прибор М229, США) [12];

- прочность при расслаивании швов стерилизационной упаковки (EN 29073-3:1992 (ГОСТ Р 53226-2008; ISO 9073-3:1992), испытательная машина Zwicki-Line Z, производитель Zwick/Roell, Германия) [13…15];

- пылеворсоотделение (ГОСТ EN 13795-2011, испытательный стенд Gelbo Flex Tester, Китай);

- паропроницаемость упаковочного материала (ГОСТ Р 12.4.287-2013, сушильный шкаф ШС-80-02 СПУ, Россия) [16…19];

- показатель чистоты в части инородных частиц для материалов (ISO 9073-10:2003, испытательный стенд Gelbo Flex Tester, Китай).

Результаты исследования

Проведены исследования различных материалов для стерилизационной упаковки, активно используемых в медицине [20…23].

Определение прочности при расслаивании клеевого шва стерилизационной упаковки

В результате исследования выявлено, что наибольшей прочностью шва при расслаивании обладает стерилизационная упаковка из влагопрочной бумаги. Упаковка из нетканого материала Tyvek имеет на 14 % меньшую прочность по сравнению с бумажной упаковкой. Наименьшей прочностью при расслаивании клеевого шва обладает упаковка их нетканого материала. Прочность клеевого шва в данном случае примерно в 6 раз меньше, чем для упаковки из влагопрочной бумаги. Стерилизация практически не сказывается на прочности при расслаивании вдоль клеевого шва в случае использования бумажной упаковки и упаковки из материала Tyvek. Прочность клеевого шва для упаковки из нетканого материала типа СМС после стерилизации снижается на 34 % (рис. 1).

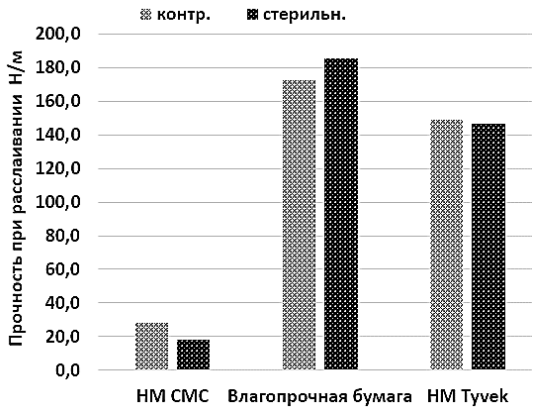


Рис. 1

Определение разрывной нагрузки материалов стерилизационной упаковки

Нетканые материалы СМС и Tyvek обладают близкими уровнями прочности. Прочность влагопрочной бумаги выше прочности нетканых материалов на 35% (рис. 2).

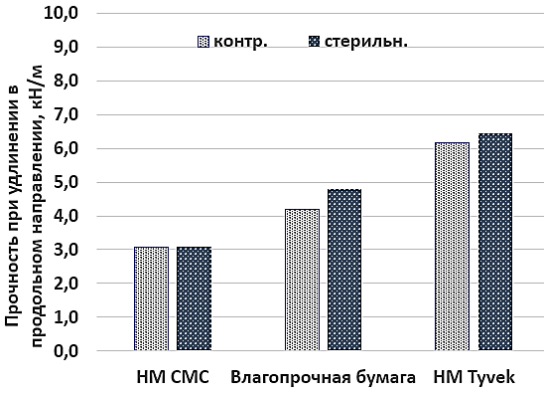


Рис. 2

Применяемый метод стерилизации оказывает несущественное влияние на прочность материала, используемого в стерилизационной упаковке:

- прочность при растяжении нетканого материала типа СМС не меняется;

- для влагостойкой бумаги наблюдается небольшое повышение прочности – на 18 %, что обусловлено, по-видимому, изменением структуры материала;

- для материала Tyvek наблюдаемое повышение прочности несущественно, в пределах ошибки эксперимента.

Нужно отметить, что из двух методов стерилизации (плазменной и паровой) плазменная стерилизация является более щадящим, мягким методом, поэтому прочность материала остается стабильной.

Оценка паропроницаемости клеевого шва стерилизационной упаковки

Необходимо отметить, что упаковка из нетканого материала Tyvek и влагостойкой бумаги имеют близкий уровень паропроницаемости, а упаковка из нетканого материала типа СМС имеет несколько большее значение данного показателя (рис. 3).

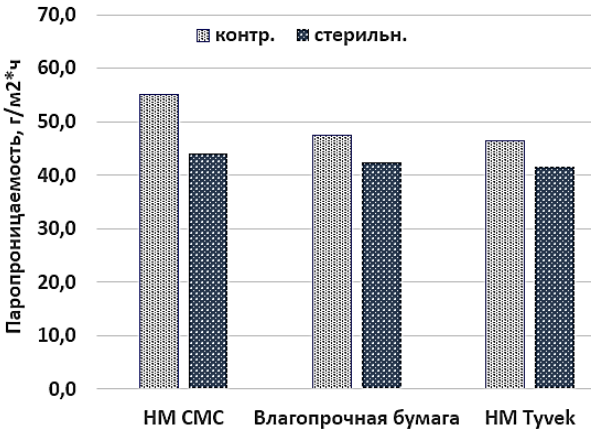


Рис. 3

Стерилизация приводит к снижению паропроницаемости всех материалов: в случае СМС материала снижение происходит на 20 %, а в случае влагопрочной бумаги и нетканого материала Tyvek примерно на 12 %. В процессе стерилизации происходит изменение структуры материала (изменение размера пор, уменьшение количества больших пор).

Определение прочности при пространственном растяжении стерилизационной упаковки

Наиболее высокой прочностью при пространственном растяжении обладает материал Tyvec – его прочность примерно в 5 раз выше, чем у нетканого материала СМС и влагопрочной бумаги.

Влагопрочная бумага и нетканый материал типа СМС обладают примерно одинаковым уровнем прочности при пространственном растяжении (рис. 4).

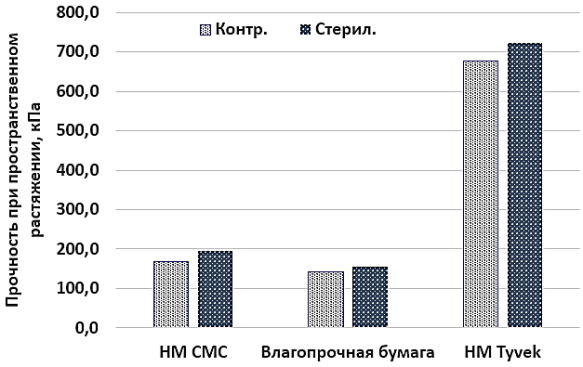


Рис. 4

Стерилизация материалов для упаковки медицинских изделий не приводит к снижению прочности при пространственном растяжении, что подтверждает устойчивость данных материалов к выбранному методу стерилизации.

Определение показателя пылеворсоотделения для материалов стерилизационной упаковки

Оценка пылеворсоотделения материалов стерилизационной упаковки показала следующее (рис. 5):

1. Наименьшим пылеворсоотделением обладает нетканый материал типа СМС. Нужно отметить, что для такого рода материалов характерно низкое отделение корпий, поскольку холст формируется из бесконечно длинных волокон. Это одно из основных преимуществ материала такого типа, которое и позволяет успешно использовать его для изготовления одноразовой стерильной хирургической одежды и белья. Плазменная стерилизация не привела к сильному ухудшению свойств нетканого материала типа СМС, что соответственно подтверждает его стабильность к данному методу стерилизации.

2. Нетканый материал Tyvek обладает немного бóльшим значением показателя пылеворсоотделения по сравнению с нетканым материалом типа СМС. Плазменная

стерилизация приводит к некоторому повышению пылеворсоотделения – на 17 %.

3. Наибольшее значение пылеворсоотделения имеет бумага. Паровая стерилизация привела к увеличению числа корпий при деформации влагостойкой бумаги. По-видимому, это связано с тем, что высокие температура и влажность при паровой стерилизации приводят к разрушению структуры бумаги.

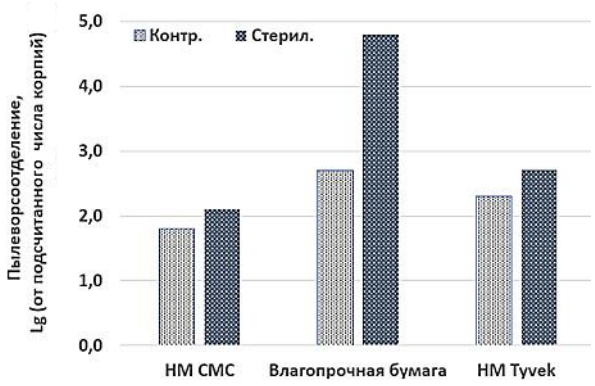


Рис. 5

Значение показателя пылеворсоотделения для хирургической одежды и белья в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ EN 13795-2011 должно быть меньше 4,0 Lg (от подсчитанного числа корпий). Если принять такие же требования для материалов для стерилизационной упаковки, то нетканые материалы типа СМС и Tyvek удовлетворяют данному требованию, а упаковка из влагопрочной бумаги после паровой стерилизации не удовлетворяет.

Определение показателя чистоты в части инородных частиц для материалов стерилизационной упаковки

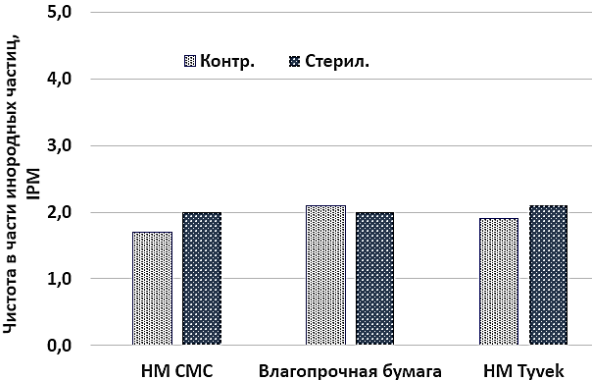


Рис. 6

Значение исследуемого показателя в соответствии с ГОСТ EN 13795-2011 должно быть менее 3,5. Все материалы, как стерильные, так и нестерильные, соответствуют данному требованию. То есть количество частиц, отделяющихся от стерилизационной упаковки при отсутствии деформации, находится в норме (рис. 6).

В Ы В О Д Ы

1. Наибольшей прочностью шва при расслаивании обладает стерилизационная упаковка из влагопрочной бумаги. Упаковка из нетканого материала Tyvek имеет на 14 % меньшую прочность по сравнению с бумажной упаковкой. Наименьшей прочностью при расслаивании клеевого шва обладает упаковка из нетканого материала. Прочность клеевого шва в данном случае примерно в 6 раз меньше, чем для упаковки из влагопрочной бумаги.

Стерилизация практически не сказывается на прочности при расслаивании клеевого шва в случае использования бумажной упаковки и упаковки из материала Tyvek. Прочность клеевого шва для упаковки из нетканого материала типа СМС после стерилизации снижается на 34 %.

2. Нетканые материалы СМС и Tyvek обладают близкими уровнями разрывной нагрузки при одноосном растяжении. Прочность влагопрочной бумаги выше прочности нетканых материалов на 35 %.

Используемые методы стерилизации оказывают несущественное влияние на прочность материалов стерилизационной упаковки.

3. Исследуемые стерилизационные упаковки в целом обладают близким уровнем паропроницаемости. Упаковка из нетканого материала типа СМС имеет несколько большее значение данного показателя.

Стерилизация приводит к снижению паропроницаемости всех материалов: в случае СМС материала снижение происходит на 20 %, а в случае влагопрочной бумаги и нетканого материала Tyvek – примерно на 12 %.

4. Наиболее высокой прочностью при пространственном растяжении обладает материал Tyvec. Влагопрочная бумага и не-

тканый материал тип СМС обладают примерно одинаковым уровнем прочности при пространственном растяжении.

Стерилизация материалов для упаковки медицинских изделий не приводит к снижению прочности при пространственном растяжении, что подтверждает устойчивость данных материалов к выбранному методу стерилизации.

5. Наименьшим пылеворсоотделением обладает нетканый материал типа СМС. Для такого рода материалов характерно низкое отделение корпий, поскольку холст формируется из бесконечно длинных волокон. Плазменная стерилизация не привела к сильному ухудшению свойств нетканого материала СМС, что соответственно подтверждает его стабильность к данному методу стерилизации.

Нетканый материал Tyvek обладает немного бóльшим значением показателя пылеворсоотделения по сравнению с нетканым материалом типа СМС. Плазменная стерилизация приводит к повышению пылеворсоотделения на 17 %.

Наибольшее значение пылеворсоотделения имеет бумага. Паровая стерилизация привела к увеличению числа корпий при деформации влагостойкой бумаги. По-видимому, это связано с тем, что высокие температура и влажность при паровой стерилизации приводят к разрушению структуры бумаги.

Нетканые материалы типа СМС и Tyvek удовлетворяют требованиям по пылеворсоотделению для материалов, используемых в операционных, а упаковка из влагопрочной бумаги после паровой стерилизации не удовлетворяет.

6. Все материалы, как стерильные, так и нестерильные, по показателю чистоты в части инородных частиц находятся в норме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корнев И.И.* Стерилизация изделий медицинского назначения // Человек. 2003. № 1. С. 151…156.

2. *Тихонова И.Е., Баранова Е.А.* Как применять одноразовую упаковку для стерилизации медизделий // Главная медицинская сестра. 2017. № 3. С. 72…75.

3. *Исмагилова Ю.А., Анисимова Е.В.* Рациональное использование современных упаковочных материалов для стерилизации медицинских изделий // Медсестра. 2019. № 10. С. 70…74.

4. *Благонравова А.С., Кузнецова Н.В., Кабанова Л.В., Зоткин И.Н.* Инновационные технологии обеспечения антиинфекционной защиты упаковочных материалов для изделий медицинского назначения // Наука и образование в XXI веке. 2013. №1. С. 21…22.

5. *Чайка А.А.* Экологические аспекты утилизации упаковки лекарственных препаратов и медицинских изделий // Молодежь – Барнаулу. 2023. №1. С. 665…666.

6. *Васильев Н.С., Андреев В.С., Лямкина О.Д.* Контроль паровой стерилизации изделий медицинского назначения // Медицинская сестра. 2006. № 3. С. 35…36.

7. *Савенко С.М., Бойко Л.С., Васильев С.Н., Демидов П.А.* Производственный контроль паровой стерилизации изделий медицинского назначения в лечебно-профилактических учреждениях // Дезинфекционное дело. 2005. № 2. С. 40…45.

8. *Газизов Р.А., Шамсетдинов Ф.Н.* Традиционные и сверхкритические методы стерилизации медицинских изделий // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 43. С. 5…9.

9. *Красникова Т.Е.* Обработка медицинского оборудования методом плазменной стерилизации // Коротковские чтения. 2024. №1. С. 86…87.

10. *Савинцева М.С., Тарханова Е.А., Вазиров Р.А., Баранова А.А.* Исследование упаковочных материалов для стерилизационной обработки медицинских инструментов // Актуальные проблемы развития естественных наук. 2020. №1. С. 89…94.

11. *Парышев Д.Н., Герасимов В.Я.* Прочность при растяжении плоских образцов с угловыми вырезами // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2010. №1. С. 1…5.

12. *Садовская Е.А., Леонович С.Н.* Расчет коэффициента интенсивности напряжения при нормальном отрыве по прочности на растяжение при изгибе // Вестник Полоцкого государственного университета. 2022. № 8. С. 27…31.

13. *Ненахов С.А.* Особенности определения прочности адгезионных соединений полимер / металл при расслаивании в водной среде // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. № 6. С. 10…12.

14. *Хадыев Я.А., Антонова М.В., Красина И.В.* Изучение прочности композиционных материалов при расслаивании // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020). 2020. №1. С. 85…88.

15. *Метелева О.В., Бондаренко Л.И., Зобнина Е.В.* Исследование клеевого пленочного материала для проклеивания ниточных соединений // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6(614). С. 146…154.

16. *Галимзянова Р.Ю., Низамова И.М., Давлетшина Э.А., Хакимуллин Ю.Н.* Оценка паропроницаемости нетканого материала и адгезивной ленты медицинского назначения // Альманах мировой науки. 2017. № 1. С. 46…47.

17. *Зарипова Э.Г.* Влияние радиационной стерилизации методом электронного излучения на паропроницаемость нетканых материалов медицинского назначения // Аллея науки. 2019. № 6. С. 110…115.

18. *Зарипова Э.Г.* Методы исследования паропроницаемости нетканых материалов медицинского назначения // Теория и практика современной науки. 2019. № 6. С. 213…219..

19. *Абрамов А.В., Кадыров И.Р., Родичева М.В. и др.* Исследование паропроницаемости трикотажных материалов в составе пакета одежды при повышенных физических нагрузках потребителя // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. №6(420). С. 139…146.

20. *Салахов И.Т., Кетова Н.Ю., Катаева Д.М.* Объемные нетканые материалы // Новая наука. 2022. С. 93…97.

21. *Лисаневич М.С., Перушкина Е.В.* Исследование возможности модификации нетканых материалов хлоргексидином с целью придания антибактериальных свойств // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12, № 4(43). С. 633…639.

22. *Федорова А.С., Чалмаева С.Б.* Особенности функционирования нетканого утеплителя "Холлофайбер" // Молодежь и кооперация: инновации и творчество. 2013. С. 157…159.

23. *Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. и др.* Исследование влияния радиационной стерилизации на нетканый материал Холлофайбер® // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5(395). С. 94…101.

R E F E R E N C E S

1. *Kornev I.I.* Sterilization of medical devices // Chelovek. 2003. No. 1. P. 151...156.

2. *Tikhonova I.E., Baranova E.A.* How to use disposable packaging for sterilization of medical devices // Chief Nurse. 2017. No. 3. P. 72...75.

3. *Ismagilova Yu.A., Anisimova E.V.* Rational use of modern packaging materials for sterilization of medical devices // Nurse. 2019. No. 10. P. 70...74.

4. *Blagonravova A.S., Kuznetsova N.V., Kabanova L.V., Zotkin I.N.* Innovative technologies for ensuring anti-infection protection of packaging materials for medical products // Science and education in the 21st century. 2013. No. 1. P. 21...22.

5. *Chaika A.A.* Environmental aspects of recycling packaging of drugs and medical products // Molodezh – Barnaulu. 2023. No. 1. P. 665…666.

6. *Vasiliev N.S., Andreev V.S., Lyamkina O.D.* Control of steam sterilization of medical products // Medical sister. 2006. No. 3. P. 35...36.

7. *Savenko S.M., Boyko L.S., Vasiliev S.N., Demidov P.A.* Industrial control of steam sterilization of medical devices in health care facilities // Disinfection business. 2005. No. 2. P. 40…45.

8. *Gazizov R.A., Shamsetdinov F.N.* Traditional and supercritical methods of sterilization of medical devices // Trends in the development of science and education. 2018. No. 43. P. 5…9.

9. *Krasnikova T.E.* Processing of medical equipment by plasma sterilization // Korotkov readings. 2024. No. 1. P. 86…87

10. *Savintseva M.S., Tarkhanova E.A., Vazirov R.A., Baranova A.A.* Study of packaging materials for sterilization processing of medical instruments // Actual problems of development of natural sciences. 2020. No. 1. P. 89…94.

11. *Paryshev D.N., Gerasimov V.Ya.* Tensile strength of flat specimens with corner notches // Processing of solid and layered materials. 2010. No. 1. P. 1…5.

12. *Sadovskaya E.A., Leonovich S.N.* Calculation of the stress intensity factor at normal separation by tensile strength in bending // Bulletin of Polotsk State University. 2022. No. 8. P. 27…31.

13. *Nenakhov S.A.* Features of determining the strength of polymer / metal adhesive joints during delamination in an aqueous environment // All materials. Encyclopedic reference book. 2014. No. 6. P. 10…12.

14. *Khadyev Ya.A., Antonova M.V., Krasina I.V.* Study of the strength of composite materials during delamination // Innovative development of engineering and technology in industry (INTEX-2020). 2020. No. 1. P. 85…88.

15. *Meteleba O.V., Bondarenko L.I., Zobnina E.V.* Study of adhesive film material for glueing thread joints // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024, 6(414). P. 146…154.

16. *Galimzyanova R.Yu., Nizamova I.M., Davletshina E.A., Khakimullin Yu.N.* Assessment of the vapor permeability of nonwoven material and adhesive tape for medical purposes // Almanac of world science. 2017. No. 1. P. 46…47.

17. *Zaripova E.G.* Effect of radiation sterilization by electron beam method on vapor permeability of nonwoven materials for medical purposes // Alley of Science. 2019. No. 6. P. 110…115.

18. *Zaripova E.G.* Methods for studying vapor permeability of nonwoven materials for medical purposes // Theory and practice of modern science. 2019. No. 6. P. 213…219.

19. *Abramov A.V., Kadyrov I.R., Rodicheva M.V.* Vapor permeability research of knitted materials in clothing systems under high physical activity conditions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 6 (420). P. 139…146.

20. *Salakhov I.T., Ketova N.Yu., Kataeva D.M.* Volumetric nonwoven materials // New Science. 2022. P. 93…97.

21. *Lisanevich M.S., Perushkina E.V.* Study of the possibility of modifying non-woven materials with chlorhexidine in order to impart antibacterial properties // News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2022. Vol. 12. No. 4 (43). P. 633...639.

22. *Fedorova A.S., Chalmaeva S.B.* Features of the functioning of the non-woven insulation "Hollofiber" //

Youth and cooperation: innovation and creativity. 2013. P. 157...159.

23. *Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Khakimullin Yu.N. etc.* Studies on the effects of radiation sterilization on non-woven fabric Hollofiber® // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021, 5 (395). P. 94…101.

Рекомендована кафедрой медицинской инженерии КНИТУ. Поступила 22.01.26.

УДК 677.019.3
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_197

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБНОСТИ К РЕЛАКСАЦИОННОМУ ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ ТКАНЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ИМПОРТНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ*

COMPARATIVE ANALYSIS OF RELAXATION RESTORATION CAPACITY OF POLYURETHANE FABRIC COATINGS OF DOMESTIC AND IMPORTED MANUFACTURERS

Ю.И. МАРУЩАК, Н.Н. ЯСИНСКАЯ

YU.I. MARUSHCHAK, N.N. YASINSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: tonk.00@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru

В условиях циркулярной экономики особый интерес представляют материалы, способные к восстановлению после технологических повреждений, к которым относятся проколы швейными иглами (прорубаемость). Однако для текстильных материалов с полимерным покрытием отсутствуют стандартизированные методы оценки данного свойства, что затрудняет их сравнительный анализ и прогнозирование свойств. В работе проведена оценка способности таких материалов к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой. Для исследования использовалась методика, предложенная авторами, включающая два этапа: моделирование повреждения путем формирования машинных строчек без нитки иглами разной геометрии (Schmetz, типы SPI, LL, R, № 80, 90) и мониторинг релаксационных процессов в стандартизированных климатических условиях с количественной оценкой уменьшения площади прокола с помощью оптической микроскопии. Установлено, что ключевым фактором, определяющим способность к релаксационному восстановлению, является толщина эластичного полимерного слоя. Образцы с толщиной покрытия более 500 мкм проявили свойства восстановления (99,9% за 0,25…5 мин), в то время как образцы с толщиной слоя менее 450 мкм показали замедленную и неполную релаксацию, зависящую от геометрии иглы. Исследованные импортные образцы не

* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)", которая состоялась 18-19 ноября 2025 года в учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).

проявили способности к релаксационному восстановлению в течение 72 часов, что связано с их структурными особенностями (жесткость полимера, структура). Установлено, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками материала.

In the context of a circular economy, materials capable of recovery from technological damage, including punctures by sewing needles (cutability), are of particular interest. However, for textile materials with a polymer coating, there are no standardized methods for assessing this property, which complicates their comparative analysis and property prediction. This study assessed the ability of such materials to relax after puncture by a sewing needle. The study utilized a methodology proposed by the authors, which includes two stages: simulating damage by forming machine stitches without thread using needles of different geometries (Schmetz, types SPI, LL, R, No. 80, 90) and monitoring relaxation processes under standardized climatic conditions with a quantitative assessment of the reduction in puncture area using optical microscopy. It was established that the key factor determining the ability to relax recovery is the thickness of the elastic polymer layer. Samples with a coating thickness greater than 500 μm exhibited recovery properties (99.9% in 0.25-5 min), while samples with a layer thickness of less than 450 μm showed delayed and incomplete relaxation, depending on the needle geometry. The studied imported samples did not exhibit the ability to relax recovery within 72 hours, which is due to their structural properties (polymer rigidity, structure). It was established that the initial puncture area and the ability to relax recovery are independent material characteristics.

Ключевые слова: релаксационное восстановление, прорубаемость, полиуретановое покрытие, искусственная кожа, сравнительный анализ.

Keywords: relaxation recovery, cutability, polyurethane coating, artificial leather, comparative analysis.

Введение

Современный текстильный рынок характеризуется растущим спросом на материалы, которые не только могут выполнять базовые функции, но и обладают специфическими свойствами, например, способностью к восстановлению [1], что обусловлено возрастающими требованиями к долговечности и функциональности материалов со стороны потребителей. Текстиль, используемый в производстве одежды, галантерейных изделий, спецодежды, должен сохранять целостность и надежность в условиях эксплуатации и воздействия внешних факторов. Одним из наиболее уязвимых мест любого текстильного изделия являются швы и места проколов, образующиеся в процессе его изготовления швейными иглами. Эти микроповреждения нарушают структурную целостность материала, снижая эстетические и потребительские свойства готового изделия, что в конечном итоге приводит к сокращению его срока службы. В текстильном материаловедении данное явление известно как прорубаемость (рис. 1). Потребность в текстильных материалах, способных к восстановлению, диктуется не только техническими факторами.

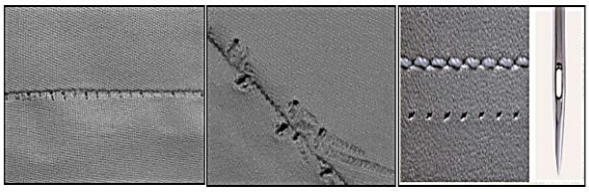


Рис. 1

С экономической точки зрения увеличение срока службы текстильных изделий напрямую снижает расходы и частоту их замены. С экологической стороны продление жизненного цикла продукции является ключевым принципом циркулярной экономики, позволяющим минимизировать объемы текстильных отходов, которые сегодня представляют одну из наиболее острых проблем для окружающей среды.

Важно отметить, что механизм и последствия прорубa по-разному трактуются и проявляются для различных типов текстильных материалов. Для ткани выделяют явную прорубку – полное разрушение нитей полотна в процессе пошива, выявляемое при осмотре швов, и скрытую прорубку – частичное разрушение нитей полотна в процессе пошива, выявляемое после стирки. В соответствии с ГОСТ 26006 "Полотна и изделия трикотажные. Методы определения явной и скрытой прорубки" для трикотажа явная прорубка – полное разрушение петель полотна при пошиве, выявляемое при просмотре его вдоль шва, а скрытая прорубка – частичное разрушение петель полотна при пошиве после механического воздействия на полотно и шов. В соответствии с ГОСТ 20840-75 "Кожа искусственная мягкая. Пороки. Термины и определения" для искусственных кож применяется следующая трактовка термина: прорубь мягкой искусственной кожи – производственный порок, характеризующийся повреждением полимерного покрытия и основы мягкой искусственной кожи.

Механизм повреждения трикотажных полотен при шитье рассмотрен в [2]. Опубликовано исследование, в котором проникновение швейной иглы в ткань записано с помощью высокоскоростной видеотехники. При пошиве одежды ткань подвержена повреждению под действием ряда факторов или их комбинации, а именно: увеличения коэффициента трения (пряжа о пряжу и пряжа об иглу), размера иглы и модуля натяжения пряжи. Подбором швейных игл в зависимости от плотности и механических свойств материала занимались авторы [3]. Они установили, что на возможность разрушения материала в процессе пошива оказывает влияние соответствие по толщине швейной нитки и иглы. Если толщина швейной нитки больше, чем возможно для данной иглы, нитка выступает из паза иглы, назначением которого является предохранение от соприкосновения с материалом в момент прокола. В результате соприкосновения швейной нитки с материалом возникает дополнительное натяжение, которое может привести к разрушению материала. На возможность разрушения нитей материала оказывает также влияние и количество одновременно сшиваемых слоев. Толщина иглы является важным параметром и должна соответствовать толщине швейного материала и швейной нити. Установлено, что на прорубание материала и величину отверстий проколов, обусловленные процессом пошива или стачивания, существенно влияет диаметр стержня (номер) машинной иглы и форма заточки ее острия. С изменением номера иглы от 90 до 100 прорубание может увеличиваться в 1,5…3 раза [4]. В работе [5] представлены исследования о влиянии нагрева на процесс шитья материалов с покрытием и качество сшитых изделий, который может приводить к их оплавлению и усугублению повреждения, а также методах снижения нагрева иглы. В работе [6] авторы напрямую измеряют силу прокола для технических текстильных материалов и устанавливают связь с качеством шва. В [7] исследовано, как проколы иглой разрушают целостность водонепроницаемого слоя текстильного материала.

Проведенный анализ исследований позволяет сделать вывод, что проблема прорубаемости текстильных материалов в процессе шитья является комплексной и изучается в контексте взаимного влияния факторов. Установлено, что ключевыми параметрами являются геометрия швейной иглы (диаметр стержня, форма заточки острия) и свойства материала (толщина, плотность). Для классических текстильных структур (тканей, трикотажа) механизм повреждения преимущественно заключается в раздвигании и разрыве нитей, что подробно исследовано и систематизировано. Вместе с тем выявлен пробел в изучении данного явле-

ния применительно к материалам со сплошным полимерным слоем, таким как искусственная кожа и материалы с покрытием. Существующие исследования, затрагивающие смежные области (нагрев иглы, приводящий к оплавлению полимерных покрытий, повреждение водонепроницаемых мембран), косвенно указывают на актуальность и специфичность данной темы. Таким образом, отсутствие систематизированных данных о механизме прорубания материалов с полимерными покрытиями обуславливает необходимость проведения исследований в данной области.

Современная тенденция к созданию "умных" и долговечных материалов требует проведения исследований в области восстанавливающихся полимеров. На сегодняшний день разработан ряд перспективных технологий создания таких полимеров, однако вопрос их адаптации для швейных изделий, подверженных специфическим повреждениям в виде проколов от игл, не получил должного освещения в научной литературе. Существующие исследования, в частности работы [8, 9], посвящены преимущественно самовосстанавливающимся полимерам, керамике, бетонам и металлам в "объемном" исполнении. Авторы [8] анализируют физико-химические механизмы восстановления дефектов и перспективы внедрения этих технологий, однако их объекты исследования имеют иную природу деформации, нежели текстильные структуры. Несмотря на активные исследования в области синтеза самовосстанавливающихся полимеров [10], вопрос объективной оценки способности к восстановлению текстильных материалов с покрытием остается актуальным. Существующие методики [7], как правило, не учитывают специфику структуры "ткань-покрытие", а также характер повреждений, наиболее вероятных для швейных изделий. Отсутствие методики оценки затрудняет сравнение способности к релаксационному восстановлению полимерных покрытий отечественных и зарубежных материалов.

Целью данной работы является сравнительная оценка способности к релаксационному восстановлению полимерного покрытия отечественных и зарубежных текстильных материалов одежного назначения на основе визуального метода.

Объект и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны ткани с пористым полиуретановым покрытием различной толщины (Беларусь). Исследуемые образцы представляют собой композиты, образованные сочетанием двух слоев, где в качестве основы использована хлопчатобумажная ткань саржевого переплетения, а лицевой слой представляет собой пористое полиуретановое покрытие, формируемое шаберным способом. Для нанесения лицевого слоя использовали соединение стабильной пены для образования эффекта искусственной кожи на основе полиуретана (анионное, pH 8-9) [11…13].

В качестве импортных образцов выбраны искусственные кожи, позиционируемые производителями как "экокожа", применяемая для пошива одежды. В основе таких образцов используется тканое (полиэстер или хлопчатобумажное) или трикотажное полотно, а в качестве полимерного покрытия – полиуретан или поливинилхлорид. Характеристики исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Шифр	Состав материала	Поверхностная плотность, г/м^2	Толщина полимерного слоя, мкм	Толщина всего материала, мкм	Производитель
№2р	Х/б ткань саржевого переплетения, пористый полиуретан	310	450	800	Беларусь
№3с		350	350	650	
№4г		340	530	900	
№5ч		390	720	910	
№5си	Полиэстер, тканое полотно, поливинилхлорид	500	400	700	Китай

Окончание табл.1

№6б	Полиэстер, трикотажная основа, полиуретан	280	170	450	Корея
№7чи	Х/б ткань полотняного переплетения, полиуретан	430	410	710	Китай

Релаксационное восстановление рассматриваемых материалов возможно благодаря использованию полиуретана, который содержит высокое количество физических связей (водородных и ван-дер-ваальсовых), составляющих 50…90% от общего числа поперечных связей. При механическом повреждении (проколе) эти связи способны разрушаться и перестраиваться [14].

В данной работе под релаксационным восстановлением понимается процесс уменьшения размеров прокола во времени за счет релаксации напряжений в полимерном слое. Однако эффективность восстановления зависит от нескольких факторов: размера повреждения, типа материала и его покрытия, условий окружающей среды и метода обработки [12].

Существует классическая методика оценки прорубаемости тканых материалов [14]. Однако прямое применение рассматриваемой методики является невозможным, так как она ориентирована на подсчет количества проколов от иглы (прорубов), а не на оценку способности к релаксационному восстановлению полимерного слоя [14]. Поэтому актуальным являлась адаптация методики под изучаемые материалы. Данная методика включала несколько этапов оценки.

Первый этап – моделирование технологического повреждения. Для воспроизведения повреждения, возникающего в процессе пошива, на испытуемых образцах выполнялись машинные строчки без нитки. Это позволило изолировать и изучать исключительно деформацию материала, вызванную проколом иглы. Параметры строчки (частота – 3 стежка на 1 см) установлены в соответствии с типовыми промышленными режимами для данных категорий материалов [14]. Важным параметром на данном этапе являлся выбор швейной иглы, поскольку геометрия ее острия напрямую определяет характер и степень повреждения. В исследовании использовались иглы марки Schmetz с различными типами заточки острия (SPI, LL, R), что позволило смоделировать различные воздействия геометрии иглы на материал. Номера игл (№80, 90) подбирались в зависимости от толщины исследуемого материала.

Второй этап – мониторинг релаксационных процессов. После проколов образцы помещались в стандартизированные климатические условия (температура 20±2 °С, относительная влажность 65±4%). Уменьшение площади проколов регистрировалось с установленной периодичностью [14]. Для количественной оценки использовался оптический микроскоп Альтами МЕТ 5, оснащенный планахроматическим объективом PL L 5X/0.12 BD, что обеспечивало необходимое разрешение при увеличении 50х. На каждом временном интервале проводились замеры геометрических параметров прокола (площади и формы) с последующим расчетом процента восстановления.

Результаты и обсуждение

Для отечественных образцов (№2р, №3с, №4г, №5ч), показавших способность к релаксационному восстановлению в процессе исследования, проводилась регистрация изменения площади прокола во времени, кинетика процесса восстановления представлена на рис. 2 (а – образец №2р, б – образец №3с, в – образец №4г, г – образец №5ч).

Последующий расчет процента восстановления представлен в виде диаграмм на рис. 3.

Анализ кинетических кривых (рис. 2) выявил различия в релаксационном поведении, позволяя классифицировать материалы на отдельные группы по скорости восстановления и его эффективности.

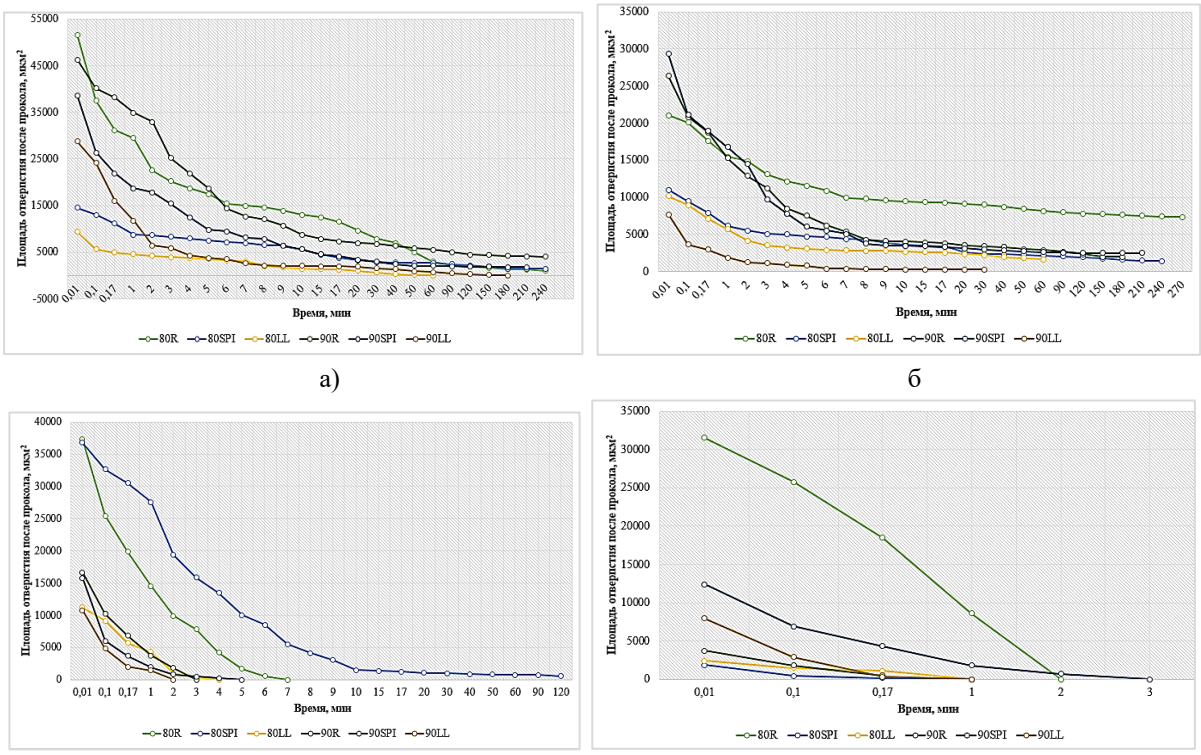


Рис. 2

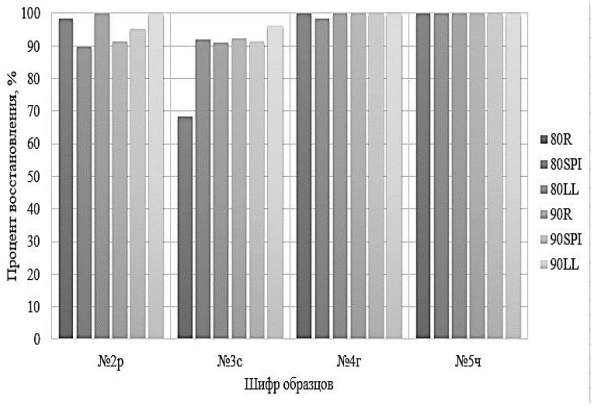


Рис. 3

Образцы с быстрым восстановлением (№4г, №5ч) – к данной группе относятся материалы с наибольшей толщиной полимерного слоя (530 и 720 мкм соответственно). Образец №5ч демонстрирует лучшую скорость релаксационного восстановления (0,25…3 мин). Это позволяет сделать вывод о том, что слой полимера обладает значительным запасом упругой деформации, способным компенсировать повреждение от прокола иглой. Образец №4г, несмотря на меньшую толщину слоя по сравнению с №5ч, также показывает удовлетворительную кинетику релаксационного восстановления. Время достижения восстановления не превышает 2…5 минут для большинства проколов, а для иглы 90LL составляет менее 1 минуты.

Образцы с замедленным и неполным восстановлением (№2р, №3с) – материалы этой группы характеризуются наименьшей толщиной полимерного слоя (450 и 350 мкм). Для них запаса эластичности и упругости оказывается недостаточно для полного релаксационного восстановления повреждения, особенно при использовании игл с геометрией типа R. Прокол в образце №3с от иглы 80R создает наибольшую зону деформации, которая не затягивается полностью за 24 часа (68,5%). Для образца характерна общая замедленная кинетика восстановления по сравнению с другими материалами. Наибольшая степень и скорость релаксации достигается при использовании игл LL и SPI. Образец №2р занимает промежуточное положение. Более толстое, чем у №3с, покрытие (450 мкм) позволяет ему эффективно восстанавливаться после проколов от острых игл (LL, SPI), но оказывается недостаточным для полного затягивания повреждений от иглы R. Наиболее эффективное

и быстрое затягивание прокола наблюдается при использовании игл с заточкой LL, оптимальное восстановление достигается в течение 60…180 минут.

Результаты, представленные на рис. 3, демонстрируют, что исследованные образцы (№2р, №3с, №4г, №5ч) обладают способностью к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой. Процент восстановления прокола в большинстве случаев превышает 90%, а для образцов №4г и №5ч достигает почти 100% (99,9%) для всех типов игл, что подтверждает эффективность использованной технологии создания покрытия на основе пористого полиуретана. На рис. 4 представлены микрофотографии процесса релаксационного восстановления для образца №4г при проколе иглой 90R.

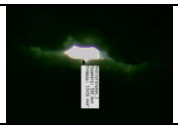
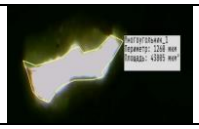
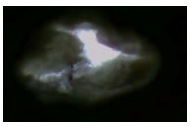
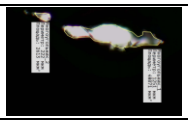
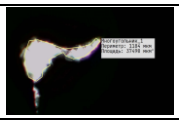
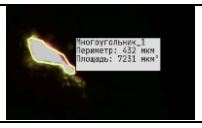


Рис. 4

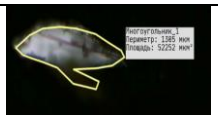
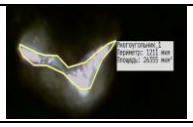
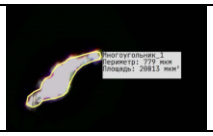
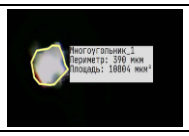
Наибольшую начальную площадь повреждения и, как следствие, наибольшую сложность для релаксации формировали иглы с заточкой R (округлое острие). Иглы с заточкой LL (узкая клиновидная) показывали лучшие результаты: быстрое (до 1 минуты) и почти полное (99,9%) затягивание прокола, что связано с образованием ланцетовидной формы прокола, способной к более быстрому восстановлению.

В результате проведенных исследований установлено отсутствие способности импортных образцов к релаксационному восстановлению полимерного покрытия. Для данной группы образцов (№5си, №6б, №7чи) измерялась начальная площадь повреждения (табл. 2).

Таблица 2

Шифр образца	Тип иглы		
	80 SPI	80 LL	80 R
№5си			
Площадь прокола, мкм^2	13436	43805	10799
№6б			
Площадь прокола, мкм^2	31680	8921	21029
№7чи			
Площадь прокола, мкм^2	5255	40871	37490
	90 SPI	90 LL	90 R
№5си			

Окончание табл. 2

Площадь прокола, мкм²	17779	7231	6319
№6б			
Площадь прокола, мкм²	52252	14618	26355
№7чи			
Площадь прокола, мкм²	20013	736	10804

Как и в случае с отечественными образцами, геометрия иглы влияет на размер начального повреждения. Однако здесь нет единой закономерности, какой тип иглы вызывает максимальные или минимальные повреждения. Это говорит о том, что форма и размер прокола зависят от конкретной структуры материала. В момент извлечения иглы наблюдалось четко выраженное сквозное отверстие с приподнятыми деформированными краями полимерной пленки. Края отверстия не смыкались. После выдержки (24 часа) изменения в размере прокола минимальны и статистически незначимы. Наблюдалась лишь незначительная релаксация напряженного материала по краям прокола, но полного восстановления не произошло. Микрофотографии наглядно демонстрируют отсутствие каких-либо признаков затягивания дефекта в течение контрольного периода. После 72 часов наблюдения дефект оставался явно видимым.

Жесткая структура ПВХ и отсутствие в его составе большого количества физических связей, способных к релаксационному восстановлению, являются основной причиной неспособности образца №5си к минимизации видимых проколов. Отсутствие релаксационного восстановления у полиуретановых образцов №6б и №7чи, вероятно, связано с их структурой, которая не обеспечивает необходимой молекулярной подвижности для затягивания прокола.

Для всех исследованных образцов в табл. 3 сведены максимальные и минимальные значения начальной площади прокола.

Таблица 3

Параметр	Шифр образца	Тип иглы	Площадь прокола, мкм²	Примечание
Максимальная площадь	№6б	90SPI	52252	Наибольшее повреждение среди всех образцов. Восстановление отсутствует.
	№2р	80R	51578	Наибольшее повреждение среди отечественных образцов. Успешно восстановилось на 98,5%.
Минимальная площадь	№7чи	90LL	736	Наименьшее повреждение среди всех образцов. Восстановление отсутствует.
	№5ч	80SPI	1838	Наименьшее повреждение среди отечественных образцов. Успешно восстановилось на 99,9%.

Минимальная площадь повреждения зафиксирована у импортного образца №7чи, который при этом не обладал способностью к восстановлению. В то же время отечественный образец №5ч, показавший большую площадь начального повреждения, продемонстрировал оптимальное и быстрое релаксационное восстановление (99,9% за 0,25…1 мин). Это доказывает, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками и высокие показатели по одному параметру не гарантируют высоких показателей по-другому.

ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что ключевым фактором, определяющим способность к релаксационному восстановлению, является толщина эластичного полимерного слоя. Материалы с толщиной покрытия свыше 500 мкм (образцы №4г и №5ч) проявили свойства быстрого восстановления, достигая 99,9% затягивания прокола в течение 0,25…5 минут независимо от геометрии иглы. Материалы с толщиной слоя менее 450 мкм (№2р, №3с) показали замедленную и неполную релаксацию, зависящую от параметров иглы.

Выявлено, что геометрия острия швейной иглы влияет на начальную площадь повреждения и эффективность последующего восстановления. Иглы с заточкой R наносили наибольшие повреждения, в то время как иглы с заточкой LL обеспечивали наилучшие условия для последующей релаксации прокола.

Проведенный сравнительный анализ показал, что исследованные импортные образцы (№5си, №6б, №7чи) не проявили способности к релаксационному восстановлению в контролируемых условиях в течение 72 часов, что связано с их структурными особенностями: использованием жесткого ПВХ (№5си) и структурой полиуретановых покрытий (№6б, №7чи), ограничивающей молекулярную подвижность полимера.

Установлено, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками. Наименьшее начальное повреждение зафиксировано у импортного образца, не способного к восстановлению, в то время как отечественные образцы демонстрировали полное релаксационное восстановление даже после значительных по площади проколов.

Полученные результаты доказывают конкурентоспособность и перспективность отечественных материалов с покрытием.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Турусбекова Н.К., Суйналиева Б.Б.* Перспективные материалы в производстве изделий легкой промышленности // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2018. № 1(45). С. 259...266.

2. *Stylios G.K., Zhu R.* The mechanism of sewing damage in knitted fabrics // Journal of Textile Institute, Part-1, 2009. Vol. 89 №2, pp. 411...421.

3. *Авезов М.Ф., Кулиева Д.Р.* Подбор швейных игл в зависимости от плотности и механических свойств материала // Сб-к науч. тр. по итогам Междунар. науч. конф., посвященной 135-летию со дня рождения проф. В.Е. Зотикова. М., 2022. Ч. 1. С. 19…25.

4. *Щербакова Н.И.* Развитие методов оценки технологических свойств современных материалов для целей проектирования и изготовления одежды: монография. Красноярск, 2020. 196 с.

5. *Aychilie D.B., Kyosev Y.* Sewing needle heating: A review on the research regarding causes, effects and methods for its reduction // International conference on textile and apparel innovation. 2022. 10 pp.

6. *Domjanic J., Kovacevic S.* An investigation of fabric properties and needle penetration force during tailoring // Tekstil ve konfeksiyon, №26(1), 2016. pp. 100...108.

7. *Yüksel Y.E., Korkmaz Y.* Investigation of sewing and water repellent performance of outdoor clothing // International Journal of Clothing Science and Technology ahead-of-print. 2019.

8. *Ситников Н.Н., Хабибуллина И.А., Мащенко В.И., Ризаханов Р.Н.* Оценка перспектив применения самовосстанавливающихся материалов и технологий на их основе // Перспективные материалы. 2018. №2. С. 5...16.

9. *Alsaad Y.M., Kareem B.J., Sultanalieva N. etc.* Advancing smart textiles with nanotechnology: legal and industrial perspectives // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5(419). С. 257…265.

10. *Hillewaere X.K.D., Du Prez F.E.* Fifteen Chemistries for Autonomous External Self-Healing Polymers and Composites. Progressin Polymer Science, 2015, 104 p.

11. *Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Петюль И.А.* Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств экокож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №2 (404). С. 103…111.

12. *Ясинская Н.Н., Марущак Ю.И., Скобова Н.В.* Влияние кратности вспенивания полиуретановой композиции и толщины нанесенного слоя на потребительские свойства искусственных кож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. №2 (410). С. 225…232.

13. *Коваленко Г.М., Бокова Е.С.* Предварительное структурообразование растворов полиуретанов при производстве пористых лицевых покрытий синтетических кож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4(418). С. 105…115.

14. *Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Петюль И.А.* Разработка методики оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2025. № 2(52). С. 44…54.

R E F E R E N C E S

1. *Turusbekova N.K., Suinalieva B.B.* Advanced materials in the production of light industry products // Bulletin of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov. 2018. № 1 (45). P. 259...266.

2. *Stylios G.K., Zhu R.* The mechanism of sewing damage in knitted fabrics // Journal of Textile Institute, Part-1. Vol. 89, №2, pp. 411...421.

3. *Avezov M.F., Kulieva D.R.* Selection of sewing needles depending on the density and mechanical properties of the material // Collection of scientific papers following the results of the International Scientific Conference dedicated to the 135th anniversary of the birth of Professor V.E. Zotikov. Moscow, 2022. Part 1. Pp. 19…25.

4. *Shcherbakova N.I.* Development of methods for assessing the technological properties of modern materials for the design and manufacture of clothing: monograph. Krasnoyarsk, 2020. 196 p.

5. *Aychilie D.B., Kyosev Y.* Sewing needle heating: A review on the research regarding causes, effects and methods for its reduction // International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021). 10 pp.

6. *Domjanic J., Kovacevic S.* An investigation of fabric properties and needle penetration force during tailoring // Tekstil ve konfeksiyon. №26(1). 2016. pp. 100...108.

7. *Yüksel Y.E., Korkmaz Y.* Investigation of sewing and water repellent performance of outdoor clothing // International Journal of Clothing Science and Technology ahead-of-print. 2019.

8. *Sitnikov N.N., Khabibullina I.A., Mashchenko V.I., Rizakhanov R.N.* Assessment of the prospects for the use of self-healing materials and technologies based on them // Advanced Materials. 2018. №2. pp. 5...16.

9. *Alsaad Y.M., Kareem B.J., Sultanalieva N. etc.* Advancing smart textiles with nanotechnology: legal and industrial perspectives // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 5(419). P. 257…265

10. *Hillewaere X.K.D., Du Prez F.E.* Fifteen Chemistries for Autonomous External Self-Healing Polymers and Composites. Progress in Polymer Science, 2015. 104 p.

11. *Marushchak Yu.I., Yasinskaya N.N., Petyul I.A.* Development of quality indicators nomenclature and evaluation of eco-leather properties // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №2 (404). P. 103…111.

12. *Yasinskaya N.N., Marushchak Yu.I., Skobova N.V.* Influence of foaming rate of polyurethane composition and thickness of applied layer on consumer properties of artificial leather // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. №2 (410). P. 225…232.

13. *Kovalenko G.M., Bokova E.S.* Preliminary structuring of polyurethane solutions in the production of porous synthetic leather face coverings // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4(418). P. 105…115.

14. *MarushchakYu.I., Yasinskaya N.N., Petyul I.A.* Development of a methodology for assessing the self-healing ability of the integrity of the polymer layer of a textile material after puncture with a sewing needle // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2025. № 2 (52). P. 44…54.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)". Поступила 11.02.26.

УДК 677.024
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_207

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫРАБОТКИ БЕЛЬЕВЫХ ТКАНЕЙ НА ЗАРУБЕЖНОМ ОБОРУДОВАНИИ

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING FABRIC FOR BED LINEN USING FOREIGN EQUIPMENT

В.Ю. РОМАНОВ[1], С.Ю. БОЙКО[1], Л.Б. ТРИФОНОВА[1], А.А. ЗАВЬЯЛОВ[1], И.С. МАРТЫНОВ[2]

V.YU. ROMANOV[1], S.YU. BOYKO[1], L.B. TRIFONOVA[1], A.A. ZAVYALOV[1], I.S. MARTYNOV[2]

**([1]Волгоградский государственный технический университет,
[2]Волгоградский государственный аграрный университет)**

**([1]Volgograd State Technical University,
[2]Volgograd State Agricultural University)**

E-mail: ttp@kti.ru

Работа посвящена исследованию технологического процесса выработки хлопчатобумажной ткани полотняного переплетения для бельевых изделий на зарубежном ткацком станке типа MST. Такие ткани при эксплуатации подвергаются большим физико-механическим воздействиям, поэтому должны быть прочными. В статье представлены результаты по определению оптимальных заправочных параметров ткацкого станка, вырабатывающего такие ткани. С целью решения поставленной задачи был проведен эксперимент. Для получения математических моделей использовалась матрица планирования эксперимента Бокс-3. В качестве объекта исследования выбрана бельевая хлопчатобумажная ткань "Миткаль", выработанная на современном ткацком станке типа MST. Проведен анализ методов оптимизации технологических процессов, определены ключевые входные и выходные параметры, а также получены математические модели зависимости критериев оптимизации от заправочных параметров ткацкого станка. Обработка экспериментальных данных проводилась по стандартным методикам. С помощью многокритериальной оптимизации определены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие максимальные прочностные и минимальные массовые характеристики ткани. Эти параметры обеспечивают стабильное протекание технологического процесса ткачества и изготовление ткани с заданными свойствами, а также приводят к улучшению ее эксплуатационных характеристик.

This article examines the technological process of producing plain-weave cotton fabric for linen on a foreign-made MST-type weaving machine. These fabrics are subject to significant physical and mechanical stress during use and therefore must be durable. The article presents the results of determining the optimal threading parameters for a weaving machine producing these fabrics.

To address the stated problem, an experiment was conducted. The Box-3 experimental design matrix was used to generate mathematical models.

The object of the study was "Mitkal" cotton linen fabric, produced on a modern MST-type weaving machine. Process optimization methods were analyzed, key input and output parameters were determined, and mathematical models were developed to demonstrate the dependence of optimization criteria on the weaving machine's threading parameters. Experimental data were processed using standard methods.

Using multi-criteria optimization, optimal process parameters were determined to ensure maximum strength and minimum weight characteristics of the fabric.

These parameters ensure a stable weaving process and the production of fabric with specified properties, as well as improve its performance characteristics.

Ключевые слова: оптимизация, ткачество, бельевая ткань, прочность, поверхностная плотность ткани.

Keywords: optimization, weaving, linen fabric, strength, surface density of fabric.

Российская текстильная промышленность испытывает в настоящее время серьезные проблемы, обусловленные изменениями на глобальном рынке, усилением международной конкуренции и необходимостью перехода на современные технологии производства.

Современное состояние отрасли осложняется такими проблемами, как значительный износ производственных мощностей, сокращение поставок хлопка из Средней Азии, высокая налоговая нагрузка, ограниченность финансирования и низкая инновационная активность предприятий.

Для решения указанных проблем предлагается расширить ассортимент продукции и повысить качество выпускаемых тканей путем модернизации технологических процессов и внедрения новейшего высокопроизводительного оборудования.

Производители текстильного оборудования предлагают высокотехнологичные станки, оснащенные современными системами управления и контроля качества, что обеспечивает стабильное производство тканей высокого уровня.

Инновационные технологии, предлагаемые производителями, открывают новые возможности для создания уникальных текстильных изделий, что повышает конкурентоспособность российского производителя на внутреннем и внешнем рынке.

Особенно актуальными становятся вопросы, связанные с коренным улучшением качества и развитием ассортимента изделий, повышением их технического и эстетического уровня, надежности в эксплуатации. Особое значение приобретают бельевые ткани, которые пользуются большим спросом у населения.

Целью данной работы является определение оптимальных технологических параметров выработки бельевых тканей на зарубежных ткацких станках.

Для изучения вопроса о методах оптимизации, применяемых при исследовании технологических процессов текстильной промышленности, а также о выборе входных и выходных параметров проведен литературный обзор работ, направленных на повышение эффективности текстильного производства через внедрение современных методов анализа, моделирования и оптимизации. Так, в исследовании [1] использовался план эксперимента, который включал в себя дисперсионный анализ и оценку

разрушающих факторов в качестве неотъемлемых компонентов процесса проектирования. Используя программное обеспечение Minitab, специалисты определили семь факторов управления, которые в наибольшей степени влияют на результат.

В работе [2] упоминается, что принцип нечеткой логики может быть использован для установления оптимальных технологических параметров ткацкого станка. Разработанная модель нечеткой логики показала, что высота зева на ткацком станке оказывает наибольшее влияние на натяжение нитей основы в процессе формирования ткани, в то время как плотность уточной нити оказывает меньшее влияние.

Работа [3] посвящена оптимизации настроек ткацкого станка (механических и электронных) для предотвращения образования пусковых дефектов ткани. Также рассматривается разработка технологически осуществимого мобильного приложения, которое помогает техническим специалистам находить контрольные линии во время устранения неполадок, что сокращает время простоя и повышает качество и производительность.

В работе [4] авторы основное внимание уделяют планированию и оптимизации ткацкого производства. Использование дискретно-событийного моделирования помогает принимать решения о размерах партий и планировании производственных операций. Кроме того, освещаются взаимосвязи между некоторыми современными технологическими тенденциями и их влиянием на текстильную промышленность.

В целом эти работы подчеркивают важность разработки и усовершенствования текстильных материалов и технологий создания качественных тканей, учитывающих специфические требования различных отраслей.

Объектом исследования в данной работе выбрана бельевая хлопчатобумажная ткань "Миткаль", которая вырабатывалась на бесчелночном ткацком станке типа MST, разработанном китайской компанией JIANGYIN MOST.

Модель MST-910, на которой вырабатывалась ткань, относится к новейшим высокоскоростным пневматическим станкам. Такая система ввода утка подходит для разного вида нитей (полиэстер, шерсть, хлопок, вискоза), при этом сохраняется высокая скорость ткачества. Станок оснащен экономичной системой подачи воздуха при вводе утка, что повышает скорость и снижает расход воздуха. В этой модели применяют сенсорные дисплеи для ввода заправочных параметров, что значительно упростило процесс изменения входных параметров в ходе активного эксперимента (рис. 1).



Рис. 1

Критериями оптимизации выбраны такие важные факторы, как: Y_1 – разрывная нагрузка ткани по основе, даН; Y_2 – разрывная нагрузка ткани по утку, даН; Y_3 – разрывное удлинение ткани по основе, мм; Y_4 – разрывное удлинение ткани по утку, мм; Y_5 – поверхностная плотность ткани, г/м^2.

На основании проведенного анализа ранее представленных исследований [5, 6, 7, 8] и практического опыта работы текстильных предприятий, а также с учетом выбранных критериев оптимизации в качестве входных параметров были определены следующие величины: X_1 – частота оборотов главного вала станка, об/мин; X_2 – плотность ткани по утку, н/дм; X_3 – заправочное натяжение нитей основы, кг.

Параметр X_1 выбран с целью проведения оценки влияния скорости ткацкого станка на физико-механические свойства ткани и анализа ассортиментных возможностей нового ткацкого оборудования на текстильном предприятии.

Для получения математической зависимости критериев оптимизации от заправочных параметров ткацкого станка использована матрица планирования эксперимента Бокс-3. Этот метод особенно полезен в случаях, когда необходимо провести эксперимент с минимальным количеством опытов, но при этом получить максимально информативные результаты.

Для исследуемых факторов определены соответствующие уровни варьирования, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента	Кодированные значения i-го фактора			Натуральные значения i-го фактора		
	X_1	X_2	X_3	X_1, об/мин	X_2, н/дм	X_3, кг
Основной уровень фактора	0	0	0	520	202	210
Интервал варьирования фактора	1	1	1	570	241	240
Верхний уровень фактора	+1	+1	+1	620	280	270
Нижний уровень фактора	-1	-1	-1	50	39	30

Значения критериев оптимизации определены по стандартным методикам с использованием следующего оборудования: разрывная машина марки ИР 5074-3, весы электронные марки Adam HCB-123, средние значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

№	Кодированные значения факторов			Средние значения критериев оптимизации				
	X_1	*X_2*	*X_3*	*Y_1, даН*	*Y_2, даН*	*Y_3, мм*	*Y_4, мм*	*Y_5, г/м^2*
1	+	+	+	31,0	34,0	29,0	27,0	115,3
2	-	+	+	33,2	32,4	29,0	28,0	116,2
3	+	-	+	31,0	26,0	25,0	18,0	96,0
4	-	-	+	34,2	24,2	24,0	19,0	96,5
5	+	+	-	32,0	33,2	32,0	27,0	116,8
6	-	+	-	32,4	34,6	30,0	27,0	115,6
7	+	-	-	32,0	22,8	27,0	19,0	95,2
8	-	-	-	34,0	23,0	27,0	20,0	97,0
9	+	0	0	32,0	29,0	29,0	22,0	106
10	-	0	0	31,6	28,3	30,0	21,0	107,0
11	0	+	0	34,3	33,0	28,0	26,0	115,4
12	0	-	0	30,5	23,2	25,0	20,0	96,4
13	0	0	+	31,0	28,6	27,0	23,0	104,5
14	0	0	-	31,0	27,2	28,0	23,0	105,0

Получены математические выражения для определения физико-механических свойств ткани по заправочным данным:

- *разрывная нагрузка ткани по основе:*

$$Y_1 = 31,36 - 0,74X_1 + 0,12X_2 - 0,10X_3 + 0,33X_1X_2 - 0,38X_1X_3 + 0.07X_2X_3 + 0,44X_1^2 + 1,04X_2^2 - 0,36X_3^2;$$

- *разрывная нагрузка ткани по утку:*

$$Y_2 = 27,94 + 0,25X_1 + 4,80X_2 + 0,44X_3 - 0,18X_1X_2 + 0,63X_1X_3 - 0,72X_2X_3 + 0,71X_1^2 + 0,16X_2^2 - 0,04X_3^2;$$

- *разрывное удлинение ткани по основе:*

$$Y_3 = 27,81 - 0,2X_1 + 2,0X_2 - 1,0X_3 + 0,13X_1X_2 - 0,13X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + 1,69X_1^2 - 1,31X_2^2 - 0,31X_3^2;$$

- *разрывное удлинение ткани по утку:*

$$Y_4 = 22,19 - 0,2X_1 + 3,9X_2 - 0,1X_3 + 0,13X_1X_2 - 0,13X_1X_3 + 0,38X_2X_3 - 0,69X_1^2 + 0,81X_2^2 + 0,81X_3^2;$$

- *поверхностная плотность ткани:*

$Y_5 = 105{,}54 - 0{,}3X_1 + 9{,}82X_2 - 0{,}11X_3 + 0{,}32X_1X_2 - 0{,}1X_1X_3 - 0{,}15X_2X_3 + 0{,}96X_1^2 + 0{,}36X_2^2 - 0{,}79X_3^2$.

В результате анализа этих математических моделей можно сделать вывод, что наибольшее влияние на разрывную нагрузку ткани по утку (Y_2), разрывное удлинение ткани по основе (Y_3), разрывное удлинение ткани по утку (Y_4), поверхностную плотность ткани (Y_5) оказывает плотность ткани по утку (фактор X_2), а на разрывную нагрузку ткани по основе (Y_1) наибольшее влияние оказывает скорость ткацкого станка (фактор X_1). Она же оказывает наименьшее влияние на разрывную нагрузку ткани по утку (Y_2), разрывное удлинение ткани по основе (Y_3).

Заправочное натяжение нитей основы (X_3) оказывает наименьшее влияние на разрывную нагрузку ткани по основе (Y_1), разрывное удлинение ткани по утку (Y_4) и поверхностную плотность ткани (Y_5).

В результате многокритериальной оптимизации технологического процесса выработки хлопчатобумажной ткани "Миткаль" на ткацком станке типа MST получены следующие оптимальные заправочные параметры: частота оборотов главного вала станка (X_1) – 613 об/мин; плотность ткани по утку (X_2) – 241 нит/дм; заправочное натяжение нитей основы (X_3) – 270 кг, при которых возможно достижение максимальных значений физико-механических свойств: разрывная нагрузка ткани по основе – 30,3 даН, по утку – 29,6 даН, разрывное удлинение ткани по основе – 27,5 мм, по утку – 22,1 мм при минимальной поверхностной плотности ткани, равной 105 г/м^2.

ВЫВОДЫ

В результате эксперимента выявлено, что на значительную часть физико-механических свойств ткани "Миткаль" оказывает влияние плотность ткани по утку.

Полученные оптимальные заправочные параметры выработки бельевой ткани полотняного переплетения позволят повысить ее качество, а также снизить затраты на ее производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Delvika Y., Dvivedi A.* Application of robust experiment to develop quality improvement in weaving production // Research Journal of Textile and Apparel. 2025. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. – https://doi.org/10.1108/RJTA-02-2025-0037

2. *Messnaoui R. et al.* Application of fuzzy logic in weaving process: A systematic literature review // The Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2023. Т. 101. С. 23.

3. *Patil T. et al.* Development of techno-feasible mobile app for process optimization in textile industry // Advances in Systems Engineering: Select Proceedings of NSC 2019. Springer Singapore, 2021. С. 281…292.

4. *Ferro R. et al.* An optimization tool for production planning: A case study in a textile industry // Applied Sciences. 2021. Т. 11. №. 18. С. 8312.

5. *Романов В.Ю., Бойко С.Ю., Трифонова Л.Б.* Оптимизация технологического процесса выработки ткани для обивки мебели // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2 (410). С. 124…128. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_2_124.

6. *Романов В.Ю., Бойко С.Ю.* Разработка оптимальных технологических параметров выработки петельной ткани с максимальной выносливостью к многократному растяжению нитей основы // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 116…121. – DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_116.

7. *Башметов В.С., Короб А.П.* Влияние величины заступа на процесс формирования хлопчатобумажной ткани и ее свойства // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2021. № 1 (40). С. 32…38.

8. *Сафонов П.Е., Юхин С.С.* Исследование условий прокладывания полиамидных и полиэфирных уточных нитей на бесчелночных станках // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5(383). С. 119…123.

REFERENCES

1. *Delvika Y., Dvivedi A.* Application of robust experiment to develop quality improvement in weaving production // Research Journal of Textile and Apparel. 2025. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. – https://doi.org/10.1108/RJTA-02-2025-0037

2. *Messnaoui R. et al.* Application of fuzzy logic in weaving process: A systematic literature review // The Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2023. Т. 101. С. 23.

3. *Patil T. et al.* Development of techno-feasible mobile app for process optimization in textile industry // Advances in Systems Engineering: Select Proceedings of NSC 2019. – Springer Singapore, 2021. С. 281…292.

4. *Ferro R. et al.* An optimization tool for production planning: A case study in a textile industry // Applied Sciences. 2021. Т. 11. №. 18. С. 8312.

5. *Romanov V.YU., Boyko S.YU., Trifonova L.B.* Optimization of the technological process for manufacturing upholstery fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 2 (410). pp. 124…128. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_2_124.

6. *Romanov V.YU., Boyko S.YU.* Development of optimal technological parameters of producing terry fabrics with a maximum resistance of the warp threads to repeated stress // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 5 (395). pp. 116…121. – DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_116.

7. *Bashmetov V.S., Korob A.P.* The influence of the crossed shed size on the process of formation of cotton fabric and its properties // Vestnik of Vitebsk State Technological University. 2021. No. 1 (40). pp. 32…38.

8. *Safonov P.E., Yukhin S.S.* Research of the mode of making of polyamide and polyester weft threads in shuttleless looms // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. No. 5 (3383). pp. 119…123.

Рекомендована кафедрой технологии текстильного производства Камышинского технологического института (филиала) ВолгГТУ. Поступила 13.05.26.

УДК 687.03+677.027.62
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_213

БИОМЯГЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛЬНЯНОЙ ОДЕЖДЫ: УСЛОВИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРИРОДНО-ОКРАШЕННОГО ВОЛОКНА*

BIO-SOFTENING OF LINEN CLOTHING PARTS: CONDITIONS FOR ENZYMATIC MODIFICATION OF NATURALLY COLORED FIBER MATERIALS

Д.Н. ШУШУНИН, С.В. АЛЕЕВА, Ю.А. ШАММУТ, Ю.С. ЦЫГАНОВА, Н.Л. КОРНИЛОВА

D.N. SHUSHUNIN, S.V. ALEEVA, Yu.A. SHAMMUT, Yu.S. TSYGANOVA, N.L. KORNILOVA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: shammut@yandex.ru

Благородный вид одежды из серого льна подчеркивает экологичность ее производства. Окраска волокна и комплекс полезных потребительских свойств обусловлены лигнином, который не удаляется при переработке текстильных материалов. Исследование посвящено усовершенствованию процессов ферментативного мягчения материалов одежды для преодоления негативного влияния жестко сшитых межволоконных одревеснений на технологические свойства ткани. Используемая полиферментная композиция на основе среднеадсорбирующейся целлюлазы включает комплекс эндо- и экзогенных деполимераз для деструкции углеводных примесей и накопления редуцирующих сахаров. Пропаривание ткани на второй стадии обработки обеспечивает протекание термоинициируемой дефрагментации лигнина. Варьируемыми параметрами являются на первой стадии степень отжима при пропитке ткани и время ферментации мокроотжатых образцов, на второй стадии – длительность пропаривания. Спектрофотометрический и потенциометрический методы использованы для контроля содержания генерируемых сахаров и развиваемого восстановительного потенциала. Уменьшение размера частиц экстрагируемого лигнина фиксировали методом динамического рассеяния света. Получены многопараметрические кор-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-29-00078, https://rscf.ru/project/25-29-00078/. В работе использована приборная база ЦКП “Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований”.

реляционные соотношения для описания зависимости жесткости и формуемости модифицированных материалов от параметров обработки. Предлагаемые режимы биомодифицирования в диапазоне варьируемых параметров обеспечивают снижение жесткости ткани из серого льна в 2,4…5,5 раза и повышение ее формуемости в 1,7…2,5 раза при незначительном понижении разрывной нагрузки.

The noble appearance of grey linen clothing emphasizes the environmental friendliness of its production. Fiber coloring and a complex of useful consumer properties are due to lignin, which is not removed during the processing of textile materials. The study is devoted to improving the processes of enzymatic softening of clothing materials to overcome the negative influence of rigidly stitched interfiber lignifications on the technological properties of fabric. The used polyenzyme composition based on medium-adsorbing cellulase includes a complex of endo- and exogenous depolymerases for the destruction of carbohydrate impurities and the accumulation of reducing sugars. Steaming the fabric at the second stage of treatment ensures the course of lignin thermally-initiated defragmentation. The variable parameters are the impregnation ratio and the fermentation time at the first stage of processing, as well as the duration of steaming at the second stage. Spectrophotometric and potentiometric methods are used to control the content of generated sugars and the developed recovery potential. The decrease in the particle size of extracted lignin was evaluated by dynamic light scattering. Multiparameter correlation equations were derived to describe how the stiffness and formability of the modified materials depend on processing parameters. The proposed modes in the established range of variable parameters make it possible to reduce the stiffness of grey linen fabric by 2.4–5.5 times and increase its formability by 1.7…2.5 times with a slight decrease in breaking load.

Ключевые слова: льняная одежда, биомягчение полуфабрикатов, лигнин, полиферментная композиция, изгибная жесткость, формуемость деталей швейного изделия.

Keywords: linen clothing, bio-softening of semi-finished products, lignin, polyenzyme composition, bending stiffness, formability of sewing product parts.

Индустрия моды считается одним из крупнейших источников загрязнения окружающей среды [1, 2]. Она вносит большой негативный вклад в объемы потребления воды, образования отходов и выброса углекислого газа, что делает переход к экологичной моде неотложным приоритетом. В полной мере принципам устойчивого развития соответствует производство востребованной на рынке льняной одежды с естественной окраской волокна. Благородные сероватые и светло-бежевые оттенки материалу придают лигнин и природные пигменты – флавоноиды [3]. Во избежание разрушения их хромофорных структур для подготовки волокна используются "зеленые" методы обработки без воздействия агрессивных реагентов [4, 5], что подчеркивает экологичность продукции.

Эти соединения обусловливают также проявление льняными материалами антиоксидантной и биоцидной активности [6]. Наряду с широким признанием высоких гигиенических свойств льняных материалов появились новые сведения об их благоприятном воздействии на кожу человека [7], о подавлении механической гиперестезии (обостренной чувствительности к раздражителям) [8]. Выявленное цитотоксическое действие льноволокна на фибробласты хомяка считают перспективным аргументом для исследования прогрессии раковых кле-

ток [9], что оправдывает выбор льняных материалов при создании специальной одежды для пациентов с онкологическими заболеваниями [10].

Для расширения цветовой палитры при оформлении продукции из натуральных волокон резко повысился интерес исследователей к получению и применению природных пигментов [11], в том числе на базе высокопродуктивных и экологичных методов микробиологического синтеза окрашенных соединений [12]. Препараты диспергированного крафт-лигнина также находят самостоятельное применение в качестве красителя, например, при трафаретной печати хлопка [13]. Оттенки варьируют от бежевого до коричневого в зависимости от степени измельчения биополимера на шаровой мельнице.

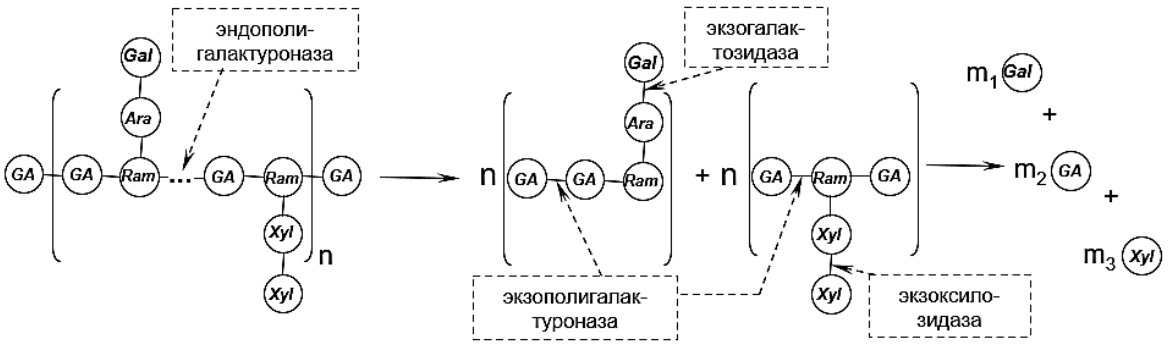
При всех вышеперечисленных достоинствах ткани из серого льняного волокна представляют особую сложность для специалистов швейного производства в связи с критическим влиянием массовой доли лигнина на возрастание жесткости и снижение формуемости материалов одежды [14]. Согласно [15] уровень гибкости комплексного льняного волокна (*Fl*, мм) повышается по мере удаления всех видов примесей из межволоконных пространств. При этом негативное влияние содержания лигнина (L, масс.%) в десятки раз превосходит вклад гемицеллюлоз (Hem, масс.%):

$$Fl = 291 - 2{,}24\mathrm{Hem} - 48{,}7\mathrm{L} + 2{,}6\mathrm{L}^2;\ \mathrm{R} = 0{,}977. \quad (1)$$

Данное исследование продолжает комплекс работ, направленных на освоение экологичных методов биохимической модификации деталей льняной одежды, которые обеспечивают регулируемое понижение жесткости материалов в определенных конструктивных зонах изделия [16, 17]. Оригинальный подход к умягчению льняных полуфабрикатов достигается за счет локализованного воздействия целлюлаз в периферийном слое первичной клеточной стенки волокна. Поскольку ферменты инактивируются в условиях последующего нагрева, промывка материала не требуется, что позволяет реализовать технологию на швейных предприятиях без оснащения их системами водоочистки.

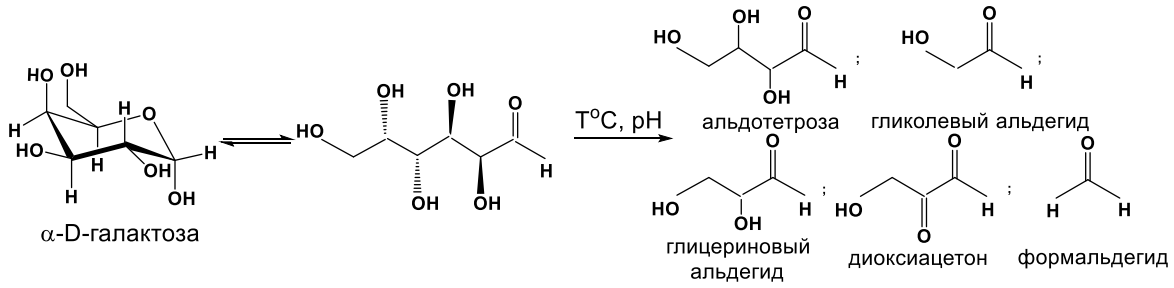
При разработке стратегии модификации деталей одежды из серых льняных тканей мы базируемся на прорывном методе применения ферментативного катализа для подготовки лигнифицированного льняного волокна к прядению [18]. Метод включает две стадии: биодеструкции полисахаридных примесей с накоплением низкомолекулярных сахаров и последующего использования альдоз в качестве участников термоинициируемой восстановительной деструкции лигнина [19].

В основе 1-й стадии лежит комбинированное действие эндогенных деполимераз, обеспечивающих разрыв срединных связей в полимере с образованием олигосахаридов, и экзогенных (осахаривающих) ферментов, отщепляющих концевые мономерные звенья от получаемых олигомеров. Схема (2) отражает протекание этих процессов на примере деструкции рамногалактурана – основного полимера пектиновых веществ.

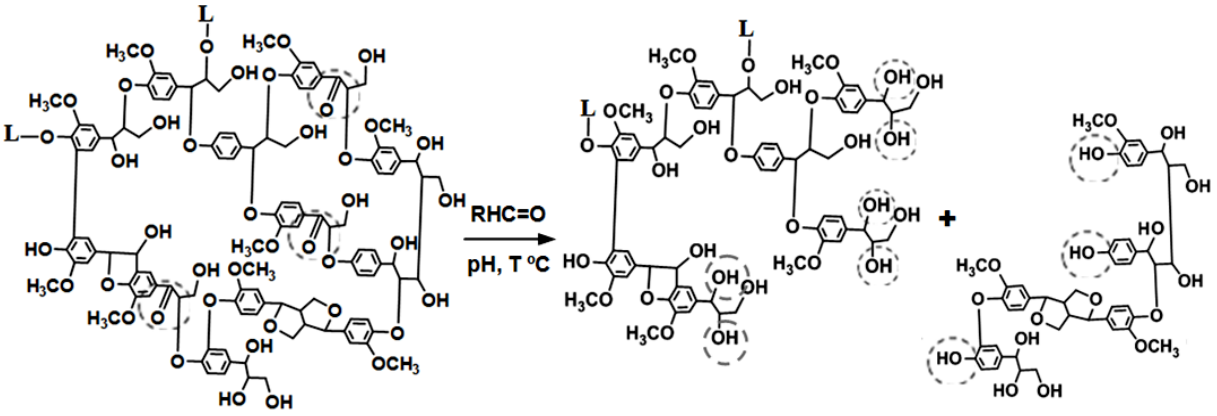


(2)

GA и ***Ram*** – звенья галактуроновой кислоты и рамнозы в цепи главных валентностей;
Xyl, ***Gal*** и ***Ara*** – звенья ксилозы, галактозы и арабинозы в боковых ответвлениях



(3)



(4)

Согласно [20] 2-я стадия включает последовательное протекание ретроальдольного распада низкомолекулярных сахаров по схеме (3) с образованием большого количества более мелких альдегидов и кетонов. Последние участвуют в реакции восстановления карбонильных групп в макромолекуле лигнина, сопровождающейся разрывом прилегающей эфирной связи между фенилпропановыми звеньями и дефрагментацией лигнина по схеме (4).

В отличие от прототипа, ориентированного на повышение растворимости лигнина в щелочных растворах и удаление его из материала, в данном случае деполимеризованный лигнин необходимо оставить в волокне для сохранения окраски. Принимаем во внимание также, что для трансформации лигнина требуется достаточно высокий уровень восстановительного потенциала (более 1000 мВ) [21]. В связи с этим вариант биообработки в большом объеме технологического раствора [16] неприменим. Необходимую концентрацию редуцирующих агентов по реакциям (2) и (3) могут обеспечить только маломодульные режимы биомодифицирования. Однако их условия определены лишь для процессов мягчения тканей, прошедших полный цикл подготовки в текстильном производстве [22, 23].

Цель исследования состоит в оценке возможностей использования адаптированных режимов маломодульного биомодифицирования для регулируемого снижения жесткости серых льняных тканей.

Материалы и методы

Использована кислованная льняная ткань арт. 9910 полотняного переплетения без умягчающей отделки линейной плотностью 200 г/см^2 (ОАО "Вологодский текстиль"). В табл. 1 приведены основные характеристики ткани в исходном состоянии.

Таблица 1

Наименование показателя	Размерность	Величина показателя в направлении нитей	
		основы	утка
Содержание полимеров: - пектин - гемицеллюлозы - лигнин	масс.%	 3,7 6,3 5,6	 2,2 6,9 5,0
Жесткость EI_0	мН·см^2	58,4	42,7
Формуемость F_0	%	9,2	10,7
Разрывная нагрузка Р	Н	47,2	28,4

Полиферментный состав получали на базе целлюлазного препарата (эндо-1,4-β-глюканаза), рекомендованного для маломодульного способа биомодифицирования [22], со следующими значениями регламентируемых параметров: доля гидратированных глобул с размером более 20 нм – 63 %;

константа адсорбции Генри K_p = 0,33 л/г. Для комбинированного воздействия на пектин и гемицеллюлозные примеси в композицию дополнительно вводили эндополигалактуроназу и эндоманназу (Sunson Group, China), а также группу экзогенных ферментов (Sigma, США). Их содержание обеспечивало следующие параметры каталитической активности пропиточного раствора (ед./мл): эндоглюканаза 200; эндополигалактуроназа 150; эндоманназа 100; экзополигалактуроназа (*exoPg*) 150; экзоксилозидаза (*exoXil*) 200; экзогалактозидаза (*exoGal*) 300; альфа-маннозидаза (*exoMan*) 200. Уровень активности ферментов в растворе определяли с применением общепринятых методик оценки расщепления тестовых субстратов [24].

Биомодифицирование образцов проводили, моделируя процесс пропитки пачки деталей кроя с отжимом на механическом обжимном прессе Topoz KL-III-N (Чехия) [23]. Пробную партию образцов складывали в стопки, погружали на 20 с в раствор ферментов с бикарбонатом натрия 25 г/л (45 ºС) и отжимали до привеса поглощенной жидкости 100 и 120 %. Разгруппированные образцы защищали полиэтиленовой пленкой от высыхания и термостатировали при 45 ºС в течение 60…120 мин. Часть образцов использовали для анализа содержания восстанавливающих сахаров и развиваемого уровня восстановительного потенциала. Основную часть образцов распаковывали и выдерживали в среде насыщенного водяного пара при 100…105 ºС в течение 15…40 мин для инициируемого протекания редокс-превращений лигнина.

Для анализа количества генерируемых восстанавливающих сахаров контрольную партию образцов заливали 2-кратным (по массе) количеством дистиллированной воды и выдерживали при 25 ºС в течение 30 мин. Содержание восстанавливающих сахаров в экстракте (с учетом разбавления) определяли спектрофотометрическим методом по интенсивности окраски комплексов с динитросалициловым реагентом [25].

Для измерения восстановительных свойств гидролизатов полимерных примесей льна в контрольной партии модифицированных образцов простригали пленочную упаковку и, используя усиленный отжим на механическом прессе, сцеживали необходимое количество технологического раствора. Измерения проводили в условиях изотермической выдержки раствора при 95 ºС на потенциометрической установке, включающей цифровой pH-метр ОР-211/1 и герметичную термостатируемую ячейку с платиновым и хлорсеребряным электродами.

Для оценки динамики дефрагментации лигнина по реакции (4) проводили его экстракцию из исходного и биомодифицированных образцов ткани водно-диоксановым раствором в соотношении 1:9 при 80 ºС с последующим анализом размера частиц методом динамического рассеяния света на анализаторе Zetasizer Nano ZS.

Эффективность модифицирования льняных материалов оценивали по следующим показателям:

– изгибная жесткость (*EI*) консольным методом (ГОСТ 10550-93); для удобства математического анализа результаты представлены в размерности мН·см^2;

– разрывная нагрузка (Р) методом одноосного растяжения (ГОСТ 3813-72);

– формуемость (*F*) по способности материалов повторять без складок и заминов сферическую поверхность радиусом 15 см в соответствии с описанием [26].

Математическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью многофакторного регрессионного анализа на базе статистического пакета Statgraphics PLUS 2000 Professional.

Результаты и обсуждение

Согласно ГОСТ 11039-2015 для полотен из природно-окрашенного льняного волокна существует технический термин кислованные ткани (*acidified linen fabrics*). Термин означает, что цикл подготовки материала включает лишь обработку раствором органических кислот (чаще щавелевой) или их солей (цитрат аммония). Их комплексообразующая способность лежит в основе эффектов дегуммирования волокна благодаря извлечению ионов Ca^{2+} из межцепных сшивающих блоков в трехмерной сетчатой

структуре пектиновых веществ [27], оплетающих макромолекулы нейтральных полисахаридов. Однако данные табл. 1 свидетельствуют, что серые ткани содержат в повышенном количестве не только лигнин, но и пектин с удерживаемыми в его сетях гемицеллюлозами. Для их деполимеризации в дополнение к специализированному целлюлазному препарату (эндоглюканазе) в полиферментную композицию введены эндополигалактуроназа, специфика действия которой показана на схеме (2), и эндоманнаназа, разрушающая макромолекулярные цепи глюкогалактоманнана – основного компонента гемицеллюлоз в льняном волокне [28].

Первостепенной решаемой задачей является установление технологического параметра для оперативного контроля качества протекания биокатализируемых процессов на 1-й стадии модифицирующей обработки. Ранее определено [23], что продолжительность воздействия применяемого целлюлазного препарата для регулируемого изменения жесткости деталей одежды из подготовленных льняных тканей составляет от 60 до 120 мин.

На рис. 1 приведены результаты оценки эффективности введения в композицию эндодеполимераз одного из исследуемых экзогенных ферментов (1…4) и их совместного влияния (5) на концентрацию генерируемых восстанавливающих сахаров ($С_{ВС}$) в микрованнах поглощенного технологического раствора при указанных значениях длительности ферментации $t_Ф$ (а), а также на достигаемую величину окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в условиях последующей изотермической выдержки при 95 ºС (б): 1 – *exoXil*; 2 – *exoPg*; 3 – *exoMan*; 4 – e*xoGal*; 5 – комплекс 1+2+3+4. Отжим при пропитке образцов 100 %.

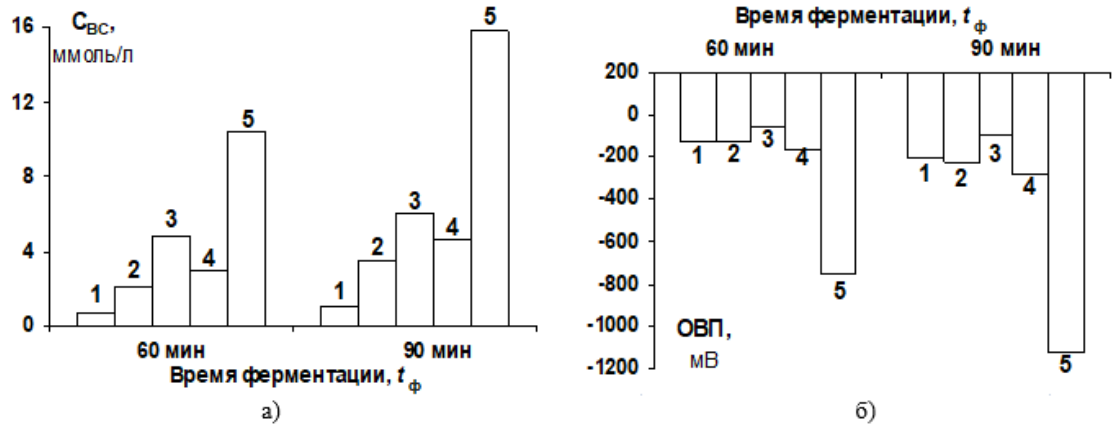


Рис. 1

Данные рис. 1, а демонстрируют независимое проявление активности каждым из экзогенных ферментов в отношении своего комплементарного субстрата, что обеспечивает аддитивный эффект при их совместном применении. Увеличение $t_Ф$ дает различающийся прирост $С_{ВС}$ для сравниваемых экзогенных ферментов. Наряду с практически пропорциональным увеличением $С_{ВС}$ в присутствии *exoGal*, зафиксировано замедление темпов генерации ксилозы под действием *exoXil*, а минимальный прирост (в 1,25 раза) обеспечивает *exoMan*, что указывает на избыточное содержание данного фермента в технологическом растворе. Наибольшее приращение (в 1,64 раза) наблюдается в случае *exoPg*, проявление активности которой согласно схеме (2) зависит от предшествующего каталитического действия эндополигалактуроназы.

Диаграммы на рис. 1, б демонстрируют переход из положительных значений ОВП, свидетельствующих о проявлении системой в исходном состоянии слабых окислительных свойств, в область отрицательных величин, отражающих уровень восстановительного потенциала. Характеризуя индивидуальный вклад генерируемых моносахаров, следует отметить низкую продуктивность использования *exoMan*, что объясняется [29] повышенной устойчивостью циклической формы β-D-маннопиранозы в ре-

акции ретроальдольного распада по схеме (3). Вместе с тем небольшое количество ксилозы, образующейся под влиянием *exoXil*, обеспечивает весомый вклад в величину ОВП, сопоставимый с результатами действия *exoPg* и *exoGal*.

Анализ совокупного влияния экзогенных ферментов свидетельствует, что выход на уровень редуцирующей способности системы, необходимый для трансформации лигнина, достигается при $t_Ф$ не менее 90 мин. В качестве критерия эффективности 1-й стадии биомягчения серых тканей можно использовать уровень показателя $С_{ВС}$ не менее 15…16 ммоль/л.

В подтверждение рекомендуемого контрольного параметра проведена оценка исследуемых характеристик системы для режима обработки с отжимом при пропитке ткани 120 % (т. е. при величине жидкостного модуля $М_Ж$ = 1,2). Установлено, что применяемая полиферментная композиция, благодаря увеличению удельного содержания биокатализаторов в структуре ткани, обеспечивает достижение уровня $С_{ВС}$ 15,2 ммоль/л уже при $t_Ф$ = 60 мин. При нагревании гидролизата величина ОВП составляет –1040 мВ, что обеспечивает старт редокс-превращений лигнина, но не гарантирует их полноты в связи с расходованием редуцирующих агентов. В случае повышения $t_Ф$ до 90 мин уровень восстановительного потенциала возрастает до 1330 мВ, что создает условия для стабильного протекания трансформации лигнина на второй стадии модифицирующей обработки.

Эффективность дефрагментации лигнина в модифицированных льняных образцах контролировали по изменению размера частиц полимера, экстрагируемого водно-диоксановым раствором. На рис. 2 показано распределение размера частиц **r** по данным интенсивности рассеяния света в препаратах лигнина, выделенных из исходной ткани (кр. 1) и из образцов, подвергнутых воздействию полиферментной композиции при величине показателей $М_Ж$ = 1 и $t_Ф$ = 120 мин с варьируемой длительностью последующего пропаривания $t_П$: 2 – 15 мин, 3 – 20 мин, 4 – 30 мин, 5 – 40 мин.

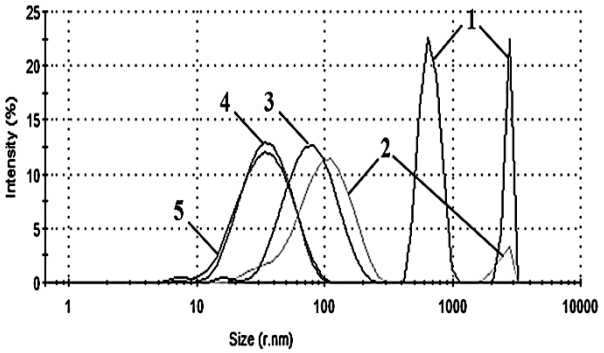


Рис. 2

Бимодальная зависимость распределения дисперсной фазы в экстракте нативного лигнина отражает наличие в волокнистом материале двух фракционных групп, что может быть связано с разной степенью лигнификации волокна в нитях основы и утка. Преобладающая фракция частиц в дисперсии имеет размер 671 нм, а мода фракции агломератов попадает на 2,78 мкм.

Результаты свидетельствуют, что термоинициируемая трансформация лигнина происходит не мгновенно и определяется не одним лишь достижением необходимого уровня химической активности участников редокс-превращения. Известно [19, 30], что начальный акт восстановления карбонильных групп в макромолекуле лигнина осуществляется по механизму нуклеофильного присоединения молекулы восстановителя. Таким образом, протекание процесса в реальной твердофазной системе является типичным случаем хемосорбционного взаимодействия, осложненного внешней и внутренней диффузией. Кроме того, показано [21], что разрыв эфирных связей между фенилпропановыми звеньями полимера регистрируется с задержкой после восстановления карбонильных групп.

В исследуемых образцах пропаривание в течение $t_П$ = 15 мин обеспечило 10-кратное снижение интенсивности пика микрометровых фракций лигнина, а мода наноразмерных частиц смещается к отметке 110 нм (уменьшение **r** в 6 раз). При $t_П$ = = 20 мин группа агломератов полностью исчезает, а размер доминирующих фракций понижается до 82 нм. Увеличение $t_П$ с 30 до 40 мин уже не изменяет положение моды (32 нм), но минимальный размер частиц

снижается с 10 нм (кр. 4) до 6 нм (кр. 5). По-видимому, для обеспечения полноты редокс-трансформации лигнина достаточно 30-минутного пропаривания.

В табл. 2 продемонстрирована динамика изменения показателя жесткости умягченных образцов после первой ($EI_S^{(1)}$) и второй ($EI_S^{(2)}$) стадий модифицирующей обработки при варьируемых значениях основных технологических параметров.

Таблица 2

Мж	$t_Ф$, мин	$t_З$, мин	$EI_S^{(1)} \pm 0,5$; мН·см^2		$EI_S^{(2)} \pm 0,5$; мН·см^2		$\Delta EI_S^{(2)}$, мН·см^2	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	90	15	29,5	22,5	21,2	15,1	8,3	7,4
		20			19,5	13,5	10,0	9,0
		30			18,6	12,8	10,9	9,7
		40			18,5	12,8	11,0	9,7
	120	15	23,1	17,9	14,5	10,4	8,6	7,5
		20			12,9	8,8	10,2	9,1
		30			12,1	8,2	11,0	9,7
		40			12,1	8,1	11,0	9,8
1,2	60	15	33,2	25,3	24,7	17,9	8,5	7,4
		20			24,1	17,3	9,1	8,0
		30			24,2	17,1	9,0	8,2
		40			24,1	17,2	9,1	8,1
	90	15	22,0	17,5	13,5	10,0	8,5	7,5
		20			11,7	8,3	10,3	9,2
		30			11,1	7,9	10,9	9,6
		40			10,9	7,7	11,1	9,8

Из сравнения $EI_S^{(1)}$ с данными табл. 1 несложно определить, что стадия ферментативной обработки в пределах варьируемых параметров Мж и $t_Ф$ обеспечивает снижение показателя жесткости в 1,76…2,65 раза в направлении нитей основы и в 1,69…2,44 раза в направлении нитей утка. Тем не менее достигаемого уровня умягчения недостаточно для получения всей совокупности деталей с необходимым уровнем жесткости даже при создании моделей женского жакета большой объемной формы со степенью пластичности "каркасная", где диапазон предпочтительных значений показателя EI составляет от 12,5 до 52 мН·см^2 [23]. В конструкции поясной одежды разных объемно-силуэтных форм требуемая величина показателя жесткости материалов варьирует в диапазоне от 1,1 до 35,1 мН·см^2 [16].

Полный цикл биомодифицирования позволил уменьшить уровень жесткости образцов в 2,36…5,36 раза по основе и в 2,39…5,55 раза по утку. Полученные результаты наглядно демонстрируют расширение возможностей для выбора условий модифицирующей обработки разных деталей изделия, исходя из его проектируемой объемно-силуэтной формы.

Для вычленения вклада трансформации лигнина в совокупный эффект умягчения образцов определена величина $\Delta EI_S^{(2)}$ по разности значений $EI_S^{(1)}$ и $EI_S^{(2)}$. Оказалось, что за исключением серии образцов с длительностью воздействия ферментов 60 мин в остальных группах наблюдается одинаковая динамика зависимости $\Delta EI_S^{(2)} = f(t_П)$. Причем наибольшие изменения $\Delta EI_S^{(2)}$ наблюдаются в течение первых 15 минут пропаривания, когда происходит разрушение основной части микрометровых фракций лигнина (см. рис. 2). После $t_П$ = 20 мин, когда агломераты жестко сшитых межволоконных одревеснений полностью исчезают, прирост $\Delta EI_S^{(2)}$ практически затухает. Очевидно, в процессе умягчения кислованных льняных тканей глубокая дефрагментация лигнина не имеет определяющего значения и длительность пропаривания можно ограничить до 20 мин.

Для вариантов биообработки с величиной $t_Ф$ = 60 мин дополнительное снижение жесткости при пропаривании также фиксируется лишь в диапазоне $t_П$ до 20 мин. Однако недостаточный запас генерируемых сахаров не позволяет завершить начальную стадию разрыхления жестко сшитых структур межклеточных одревеснений.

Правомерно полагать, что изменения величины $EI_S^{(1)}$ определяются главным образом проявлением каталитической активности целлюлазного компонента полиферментного состава. При этом совокупность полученных значений $EI_S^{(1)}$ корректно описывается предложенной [31] многопараметрической зависимостью для определения жесткости умягченных образцов с учетом исходного значения EI_0, параметров маломодульной обработки Мж и $t_Ф$, а также уровня активности целлюлазы в растворе A и поверхностной плотности ткани M_A. Математическая обработка полученных результатов с учетом вышеуказанных вводных позволила уточнить вид зависимости для варианта двухстадийной модификации кислованных льняных тканей:

$$EI_S^{(2)} = EI_0(1 - 0{,}015 \cdot M_Ж \frac{A\sqrt{t_Ф}}{M_A} - 2{,}1 \cdot 10^{-4} M_Ж \frac{A^2\sqrt{t_Ф}}{M_A} - 0{,}1272 \cdot L \cdot t_П + 0{,}002 \cdot L \cdot t_П^2) \quad (5)$$

где L – содержание лигнина в волокне нитей основы или нитей утка.

Соотношение (5) обладает высокой прогностической способностью при значениях $t_П$ до 20 мин и обеспечении условий для достижения на 1-й стадии обработки уровня $C_{ВС}$ более 15 ммоль/л, предпочтительно не менее 16 ммоль/л. Для вариантов биомодифицирования с повышением $t_П$ до 30 мин расчетное значение $EI_S^{(2)}$ может занижаться, но не более чем на 6 % от экспериментальной величины.

В табл. 3 суммированы результаты анализа показателей формуемости умягченных образцов (F_S) и разрывной нагрузки (Р) тканей после двухстадийной модифицирующей обработки с ограниченной продолжительностью пропаривания $t_П$.

Таблица 3

$M_Ж$	$t_Ф$, мин	$t_П$, мин	$F_S \pm 0{,}3$; %		Р ± 0,3; Н	
			основа	уток	основа	уток
1	90	15	17,6	20,1	46,0	27,5
		20	18,2	21,0	45,9	27,4
	120	15	20,4	22,9	45,5	27,3
		20	21,4	24,5	45,4	27,3
1,2	60	15	16,4	18,6	46,1	27,2
		20	16,8	19,2	46,1	27,2
	90	15	21,6	23,4	45,0	27,0
		20	22,7	25,6	44,9	26,9

В технологическом плане позитивность снижения жесткости деталей кроя проявляется в улучшении их способности деформироваться на изогнутой поверхности, создавая объемную форму узлов швейного изделия и облегая фигуру человека. Совместный анализ данных табл. 2 и 3 подтверждает адекватность корреляционной модели, предложенной [31] для описания взаимосвязи параметров жесткости и формуемости образцов с учетом технологической усадки ткани Y, величина которой в эксперименте не превышала 2%:

$$F_S = 40{,}3\left[1 - (1 - Y/100)\frac{\ln EI_S^{(2)}}{\ln M_A}\right]. \quad (6)$$

В тестовом эксперименте увеличение показателя F при варьируемых параметрах обработки составляет от 1,8 до 2,5 раза в направлении нитей основы и 1,7…2,4 раза по утку. Заметим, что в относительном выражении изменение показателя формуемости материала скрадывает фактическую ценность преобразования его структуры. Более наглядным является сравнение абсолютных величин площади на поверхности шара, повторяемой исходной тканью и модифицированными образцами.

На рис. 3 приведена схема определения формуемости материалов. Величина показателя F характеризует центральный угол α между радиусами, проведенными к предельным точкам прилегания ткани к поверхности полусферы: $F = (\alpha/180) \cdot 100\%$.

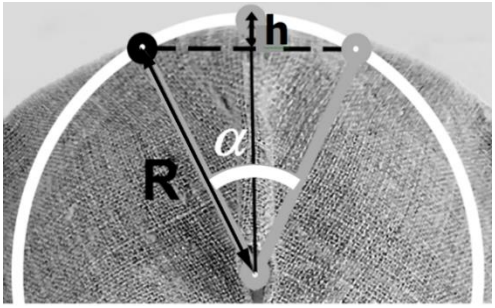


Рис. 3

Когда показатель F имеет близкие значения по утку и основе, поверхность контакта можно определить как площадь сферического сегмента S_{CC}, величина которой рассчитывается исходя из радиуса сферы R и высоты шарового сегмента h:

$$S_{CC} = 2\pi Rh = 2\pi R \cdot R(1 - \cos\alpha/2). \quad (7)$$

В условиях тестового эксперимента величина S_{CC} для исходного материала составила 424 мм^2. В случае наибольшего умягчения ткани и достижения усредненного уровня F_S = 25 % величина S_{CC} возрастает до 2685 мм^2. Таким образом, с использованием модифицирующей обработки в исследуемом диапазоне варьирования технологических параметров удалось обеспечить повышение пластичности деталей швейного изделия в 3,25…6,3 раза.

Обязательной контрольной характеристикой материалов, модифицируемых с использованием ферментов-деполимераз, является уровень потерь механической прочности. Представленные в табл. 3 значения разрывной нагрузки образцов демонстрируют, что варьирование параметров термоинициируемой трансформации лигнина практически не оказывает влияния на прочностные свойства материалов. Вместе с тем прослеживается динамика в снижении величины Р по мере усиления ферментативного воздействия на первой стадии биообработки. Однако правильный подбор целлюлазного компонента полиферментной композиции позволяет избежать деструкции целлюлозных фибрилл в объеме вторичной клеточной стенки льняного волокна [17, 22], благодаря чему снижение показателя Р составляет лишь 1,8…4,5 % и не превышает технологически допустимых значений (до 5 %).

ВЫВОДЫ

Усовершенствованный режим ферментативного мягчения деталей одежды из кислованных льняных тканей предусматривает маломодульный вариант обработки полиферментной композицией на базе среднеадсорбирующейся целлюлазы с преимущественным размером гидратированных глобул более 20 нм, в которую включены энзимы, обеспечивающие расщепление углеводных примесей с накоплением в волокне низкомолекулярных продуктов гидролиза. Обосновано использование анализируемого количества генерируемых редуцирующих сахаров в качестве параметра технологического контроля на стадии ферментации мокроотжатых материалов для эффективного протекания восстановительной дефрагментации лигнина на последующей стадии обработки насыщенным паром.

По результатам совместного анализа изменения размера частиц экстрагируемого лигнина и изменения показателя жесткости ткани подтверждена необязательность глубокой деструкции биополимера и определена необходимая продолжительность пропаривания для дробления жестко сшитых межволоконных одревеснений с размерами в микрометровом диапазоне.

Определены параметры модифицирующей обработки, которые позволяют регулируемо понижать жесткость материалов с 43…58 мН·см^2 до 8…25 мН·см^2, обеспечивая при этом повышение их формуемости с 9…10 % до 16…26 %, что позволяет улучшить деформационное поведение узлов и деталей в соответствующих конструктивных зонах швейного изделия. Результаты расчета площади повторения изогнутой поверхности с радиусом кривизны 75 мм демонстрируют возможность увеличения показателя в 3,25…6,3 раза.

Установлено, что стадия трансформации лигнина не вызывает потерь прочности материала, а воздействие специализированного целлюлазного препарата сопровождается технологически допустимым снижением разрывной нагрузки на 1,8…4,5 %.

Предложены корреляционные соотношения для подбора условий биомодифицирования выкроенных заготовок и выхода на необходимый уровень жесткости и формуемости разгруппированных деталей одежды с учетом свойств используемых природно-окрашенных льняных тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hoque A., Rasiah R., Furuoka F. et al.* Antecedents and firm performance of sustainable technology adoption in the clothing industry: A study based on the technology-organization-environment framework // Sustain. Futures. 2025. 10. 101381. – https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101381.

2. *Ибрагим И.К., Нажм И.А., Кенжеева М. и др.* Стратегии сокращения углеродного следа в мировой текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5. С. 337…345. – https://doi.org/10.47367 /0021-3497_2025_5_337.

3. *Xia Q., Chaoji C., Yao Y. et al*. In situ lignin modification toward photonic wood // Adv. Mater. 2021. 33. 8. 2001588. – https://doi.org/10.1002/adma. 202001588.

4. *Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Лихарева Н.Д.* Решение задачи сохранения природной окраски льняных текстильных материалов // Рос. хим. журн. 2017. Т. 61, № 4. С. 9…13.

5. *Чешкова А.В., Топорищева Н.А., Коткова Т.С. и др.* Практика получения гладкокрашеных хлопкольняных тканей с природно-окрашенным котонином // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6. С. 143…149. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_6_143.

6. *Alsafran M., Kasote D.M.* Biofunctional plant fibers and their bioactive-based materials: A critical re-

view // Biocatal. Agric. Biotechnol. 2025. 67. 103652. – https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103652.

7. *Yang Q., Zhou X., Deng L. et al.* Synergistic multi-enzyme modification of ramie fabric: optimized process for alleviating prickle sensation and enhancing comfort // Textiles. 2025. 5. 4. 60. – https://doi.org/10.3390/textiles5040060.

8. *Khan S., Khatib-Shahidi B., Gottwald L. et al.* Woven comfort: Navigating hyperesthesia through fabric innovation // Open Dermatol J. 2025. 19. 1. – https://doi.org/10.2174/0118743722386347250603052621.

9. *Wojtasik W., Kostyn K., Preisner M. et al*. Cottonization of decorticated and degummed flax fiber - A novel approach to improving the quality of flax fiber and its biomedical applications // J. Nat. Fibers. 2024. 21. 1. – https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2368143.

10. *Абенова И.Р., Жилисбаева Р.О., Мокеева Н.С., Талгатбекова А.Ж.* Разработка комплектов специальной одежды для пациентов с онкологическими заболеваниями // Вестник Алматинского технол. ун-та. 2022. Т. 135, № 1. С. 93…99. – https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-1-93-99.

11. *Hoque M., Rahman M., Baria B.* Sustainable and eco-friendly natural dyes: a holistic review on sources, extraction, and application prospects // Text. Res. J. 2025. 00405175251321139. – https://doi.org/10.1177/00405175251321139.

12. *Basto B., da Silva N., Teixeira J.A. et al.* Biotechnological production of natural pigments for textile dyeing // Front. Microbiol. 2025. 16. 1677799. – https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1677799.

13. *Lehtonen J., Johansson P., Babaeipour S. et al.* Application of kraft lignin as a colorant for screen printing on cotton // Ind. Crop. Prod. 2025. 230. 2. 121056. – https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121056.

14. *Солодушенкова Т.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А., Радченко О.В.* Влияние полимерных компонентов льняного волокна на жесткость тканого полотна // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4. С. 128…135. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_4_128.

15. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V. et al.* How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // Ind. Crop. Prod. 2023. 192. 13. 116088. – https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116088.

16. *Шаммут Ю.А., Алеева С.В., Корнилова Н.Л.* Метод жидкостного биомягчения материалов льняной одежды: роль поверхностной плотности тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1. С. 113…122. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2025_1_113.

17. *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. – https://doi.org/10.1177/00405175221101018.

18. *Lepilova O., Spigno G., Aleeva S. et al.* Study of the ability of reducing saccharides to chemically transform lignin // Eurasian Chem.-Technol. J. 2017. 19. 1. P. 31…40. – https://doi.org/10.18321/ectj500.

19. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А.* Химические превращения лигнина льняной костры под действием продуктов ферментации полисахаридов // Журн. прикл. спектр. 2021. Т. 88, № 4. С. 603…610. – https://doi.org/10.1007/s10812-021-01240-1.

20. *Лепилова О.В., Алеева С.В., Кокшаров С.А.* Анализ химических превращений лигнина в щелочных растворах моносахаридов // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 47…52. – https://doi.org/10.14258/jcprm.1301047.

21. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А.* Исследование восстановительной деструкции лигнина методом ИК-спектроскопии // Журн. прикл. спектр. 2020. Т. 87, № 5. С. 694…699. – https://doi.org/10.1007/s10812-020-01069-0.

22. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. и др.* Подбор целлюлаз для умягчающей обработки льняных изделий пропиткой растворами биопрепаратов // Известия. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 98…105. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98.

23. *Шаммут Ю.А., Большакова К.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А. и др.* Биомягчение материалов женского льняного жакета методом пропитки: роль поверхностной плотности тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2026. №1. С. 175…184. – DOI 10.47367/0021-3497_2026_1_175

24. *Рухлядева А.П., Полыгалина Г.В.* Методы определения гидролитических ферментов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

25. *Helm C.V., Magalhães W.L.E., de Lima E.A. et al.* Time influence in the enzymatic saccharification of cellulose pulp samples // BMC Proc. 2011. 5. 7. P. 112. – https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P112.

26. *Koksharov S.A., Kornilova N.L., Shammut J.A. et al.* Synthesis of a highly chained polymeric connecting in the structure of a multilayered package for garments // Key Eng. Mater. 2019. 816. P. 219…227. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.816.219.

27. *Кокшаров С.А., Алеева С.В., Лепилова О.В.* Влияние строения пектиновых веществ льняных кормовых добавок на абсорбционное связывание азагетероциклических микотоксинов // Рос. хим. журн. 2021. Т. 65, № 1. С. 12…35. – https://doi.org/10.6060/rcj.2021651.2.

28. *Алеева С.В., Шипова С.Е., Зяблов В.А. и др.* Биомодификация льноволокнистого сырья для полимерных композитных материалов: эффективность дробления льняных комплексов // Химия растительного сырья. 2026. № 1. С. 302…312.

29. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А.* Сопоставление редуцирующей способности растворов альдоз // ЖОрХ. 2012. Т. 48, № 1. С. 88…93.

30. *Оболенская А.В.* Химия лигнина. СПб.: ЛТА. 1993. 80 с. – https://t.eruditor.one/file/129469/

31. *Шаммут Ю.А., Большакова К.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А.* Градиентное мягчение материалов женского льняного жакета с маломодульным нанесением ферментного раствора // Известия вузов. Технология текстильной промышленности.

2026. № 2. С. 198…207. – DOI 10.47367/0021-3497_ 2026_2_198

R E F E R E N C E S

1. *Hoque A., Rasiah R., Furuoka F. et al.* Antecedents and firm performance of sustainable technology adoption in the clothing industry: A study based on the technology-organization-environment framework // Sustain. Futures. 2025, 10, 101381. – https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101381.

2. *Ibrahim I.K., Najm I.A., Kenzheeva M. etc.* Carbon footprint reduction strategies in the global textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 419, 5. P. 337…345. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2025_5_337.

3. *Xia Q., Chaoji C., Yao Y. et al.* In situ lignin modification toward photonic wood // Adv. Mater. 2021, 33, 8, 2001588. – https://doi.org/10.1002/ adma.202001588.

4. *Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Likhareva N.D.* The problem of preserving the natural colours of linen textile materials // Russ. J. Gen. Chem. 2019, 89, 2700…2704. – http://doi.org/10.1134/S10703632191 20466.

5. *Cheshkova A.V., Toporishcheva N.A., Kotkova T.S. et al.* The practice of obtaining dyed cotton-linen fabrics with naturally colored cotonine // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, 408, 6. P. 143…149. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_6_143.

6. *Alsafran M., Kasote D.M.* Biofunctional plant fibers and their bioactive-based materials: A critical review // Biocatal. Agric. Biotechnol. 2025. 67, 103652. – https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103652.

7. *Yang Q., Zhou X., Deng L. et al.* Synergistic multi-enzyme modification of ramie fabric: optimized process for alleviating prickle sensation and enhancing comfort // Textiles. 2025, 5, 4, 60. – https://doi.org/10.3390/textiles5040060.

8. *Khan S., Khatib-Shahidi B., Gottwald L. et al.* Woven comfort: Navigating hyperesthesia through fabric innovation // Open Dermatol J. 2025, 19, 1. – https://doi.org/10.2174/0118743722386347250603052621.

9. *Wojtasik W., Kostyn K., Preisner M. et al.* Cottonization of decorticated and degummed flax fiber - A novel approach to improving the quality of flax fiber and its biomedical applications // J. Nat. Fibers. 2024, 21, 1. – https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2368143.

10. *Abenova I.R., Zhilisbaeva R.O., Mokeeva N.S., Talgatbekova A.Zh.* Evelopment of sets of special clothing for cancer patiens // Journal of Almaty Technological University. 2022, 135, 1. P. 93…99. – https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-1-93-99.

11. *Hoque M., Rahman M., Baria B.* Sustainable and eco-friendly natural dyes: a holistic review on sources, extraction, and application prospects // Text. Res. J. 2025, 00405175251321139. – https://doi.org/ 10.1177/00405175251321139.

12. *Basto B., da Silva N., Teixeira J.A. et al.* Biotechnological production of natural pigments for textile dyeing // Front. Microbiol. 2025, 16, 1677799. – https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1677799.

13. *Lehtonen J., Johansson P., Babaeipour S. et al.* Application of kraft lignin as a colorant for screen printing on cotton // Ind. Crop. Prod. 2025, 230, 2, 121056. – https://doi.org/10.1016/ j.indcrop.2025.121056.

14. *Solodushenkova T.S, Kornilova N.L., Koksharov S.A., Radchenko O.V.* Influence of linen fiber polymeric components on the rigidity of woven fabric // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 400, 4, P. 128…135. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_ 2022_4_128.

15. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V. et al.* How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // Ind. Crop. Prod. 2023, 192, 13, 116088. – https://doi.org/10.1016 /j.indcrop.2022.116088.

16. *Shammut Yu.A., Aleeva S.V., Kornilova N.L.* Metod of liquid biosoftening of linen clothing materials: the role of fabric surface densety // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 415, 1. P. 113…122. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2025_1_113.

17. *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. – https://doi.org/10.1177/ 00405175221101018.

18. *Lepilova O., Spigno G., Aleeva S. et al.* Study of the ability of reducing saccharides to chemically transform lignin // Eurasian Chem.-Technol. J. 2017. 19. 1. P. 31…40. – https://doi.org/10.18321/ectj500.

19. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Chemical transformations of flax shive lignin under the action fermentation products of polysaccharides // J. Appl. Spectr. 2021, 88, 4. P. 781…788. – https://doi.org/10.1007/s10812-021-01240-1.

20. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Analysis of chemical transformations of lignin in alkaline solutions of monosaccharides // Chem. Plant Raw Mater. 2013, 1. P. 47…52. – https://doi.org /10.14258/jcprm.1301047.

21. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Study of reducing destruction of lignin by FT-IR spectroscopy // J. Appl. Spectr. 2020, 87, 5. P. 694…699. – https://doi.org/10.1007/s10812-020-01069-0.

22. *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 Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 402, 6. P. 98…105. – https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_6_98.

23. *Shammut Yu.A., Bolshakova K.S., Kornilova N.L., Koksharov S.A.* Biosoftening of a women`s linen jacket materials by impregnation: the role of tissue surface density // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2026, 421, 1. P. 175…184. – DOI 10.47367/0021-3497_ 2026_1_175

24. *Rukhlyadeva A., Polygalina G.* Determination of the activity of hydrolytic enzymes: Methods. Moscow:

Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost, 1981. 288 p. – https://search.rsl.ru/ru/record/01001054065?ysclid=mfqo0dq380318775907.

25. *Helm C.V., Magalhães W.L.E., de Lima E.A. et al.* Time influence in the enzymatic saccharification of cellulose pulp samples // BMC Proc. 2011, 5, 7. P. 112. – https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P112.

26. *Koksharov S.A., Kornilova N.L., Shammut J.A. et al.* Synthesis of a highly chained polymeric connecting in the structure of a multilayered package for garments // Key Eng. Mater. 2019, 816. P. 219…227. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.816.219.

27. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V.* The influence of the structure of pectin substances of flax fodder supplements on absorption binding of azaheterocyclic mycotoxins // Russ. J. Gen. Chem. 2021, 91, S1. P. S60…S83. – https://doi.org/10.1134/S1070363221130399.

28. *Aleeva S.V., Shipova S.E., Zyablov V.A. et al.* Biomodification of flax raw materials for composite applications: efficiency of bast fiber bundle separation // Chem. Plant Raw Mater., 2026, 1. P. 302…312.

29. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Comparatio reducendi facultatem solutionum aldose // Russ. J. Org. Chem. 2012, 48, 1. P. 83…88. – https://doi.org/10.1134/S1070428012010125.

30. *Obolenskaya A.V.* Chemistry of lignin. St. Petersburg: LTA. 1993. 80 p. – URL: https://t.eruditor.one/file/129469/

31. *Shammut Yu.A., Bolshakova K.S., Kornilova N.L., Koksharov S.A.* Gradient softening of a women's linen jacket materials with impregnation a small amount of enzyme solution // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2026, 422, 2. P. 198…207. – DOI 10.47367/0021-3497_ 2026_2_198

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, сертификации и метрологии ИВГПУ. Поступила 28.01.26.

УДК 677.469
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_225

ВЛИЯНИЕ СПИРТОВО-ЩЕЛОЧНОЙ СМЕСИ НА ОСАЖДЕНИЕ РАСТВОРОВ ХИТОЗАНА И ИХ СМЕСЕЙ С НАНОФИБРИЛЛАМИ ХИТИНА

EFFECT OF ALCOHOL-ALKALINE MIXTURE ON PRECIPITATION OF CHITOSAN SOLUTIONS AND THEIR MIXTURES WITH CHITIN NANOFIBRILLS

Е.Н. ДРЕСВЯНИНА[1,2], И.П. ДОБРОВОЛЬСКАЯ[1] Н.Н. САПРЫКИНА[1], В.Е. ЮДИН[1]

E.N. DRESVYANINA[1,2], I.P. DOBROVOLSKAYA[1], N.N. SAPRIKINA[1], V.E. YUDIN[1]

([1]Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт" – Институт высокомолекулярных соединений, [2]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

([1]Branch of the B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center "Kurchatov Institute" – Institute of Macromolecular Compounds, [2]Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: elenadresvyanina@gmail.com

Рассмотрены процессы коагуляции уксусно-кислотных растворов хитозана и композиционных растворов, модифицированных нанофибриллами хитина, в осадителях, содержащих NaOH и этанол в различных соотношениях. Наиболее быстрое осаждение происходит при использовании щелочного осадителя (10%-го раствора NaOH). При добавлении спирта в осадитель скорость коагуляции снижается. Фазовый распад вызван резким изменением pH капли исследуемого раствора. После осаждения все исследуемые капли имеют гомогенную структуру. Осаждение хитозана в растворе щелочи приводит к образованию пористой структуры волокна, что отрица-

тельно сказывается на его прочности. Добавление этанола в состав осадительной ванны способствует формированию однородной структуры волокна, обеспечивающей оптимальные механические свойства волокна. Рекомендован оптимальный состав осадительной ванны: смесь NaOH и этанола в соотношениях 75:25 и 50:50.

The processes of coagulation of acetic acid solutions of chitosan and composite solutions modified with chitin nanofibrils in precipitants containing NaOH and ethanol in various ratios are considered. The fastest precipitation occurs when using an alkaline precipitant (10% NaOH solution). Adding alcohol to the precipitant reduces the coagulation rate. Phase decomposition is caused by a sharp change in the pH of a drop of the test solution. After precipitation, all the droplets have a homogeneous structure. Precipitation of chitosan in an alkali solution leads to the formation of a porous fiber structure, which negatively affects their strength. Adding ethanol to the precipitation bath promotes the formation of a homogeneous fiber structure, ensuring optimal mechanical properties of the fiber. The optimal composition of the precipitation bath is recommended: a mixture of NaOH and ethanol in ratios of 75:25 and 50:50.

Ключевые слова: мокрое формование, хитозан, нанофибриллы хитина, осаждение, структура, "метод капли".

Keywords: wet spinning, chitosan, chitin nanofibrils, precipitation, structure, "drop method".

Введение

Эффективность переработки полимеров в волокна и пленки определяется связью свойств конечного материала с условиями его получения. Процесс получения волокон и пленок заключается в переводе полимера в вязкотекучее состояние с последующим его вытягиванием и затвердеванием. Перевод полимера в вязкотекучее состояние осуществляется либо его плавлением, либо растворением в соответствующих растворителях.

Температура разложения хитина и хитозана ниже температуры плавления, что характерно для полисахаридов с обширными водородными связями, а также для множества промышленно значимых конструкционных полимеров, таких как ароматические полиамиды и полиимиды, полиакрилонитрил, полибензимидазолы и др. Это приводит к необходимости их растворения, т. е. переработка хитина и хитозана в конечные продукты производится только через их растворы [1, 2]. Растворитель удаляется из волокна или пленки путем осаждения в щелочной среде с протеканием процессов фазового разделения (мокрое формование) или его испарением (сухое формование).

Явления фазовых превращений важны для процесса мокрого формования хитозанового волокна, который заключается в продавливании кислотного раствора хитозана через фильеру в виде тонких струй в щелочную среду с последующим его осаждением. При контакте раствора хитозана с осадителем происходит массообмен растворителя и осадителя, при этом струя хитозана подвергается действию растягивающих напряжений, вызывая ориентацию макромолекул. Полученная система является термодинамически неустойчивой с точки зрения фазового равновесия, процесс получения волокна сопровождается фазовым распадом раствора полимера, вытеснением растворителя осадителем, в результате чего происходит застудневание полимера, превращение жидкой нити в волокно [3, 4].

Одним из ключевых факторов, определяющих стабильность процесса мокрого формования и качество получаемой нити,

является состав осадительной ванны. Общепринятыми осадителями для формования хитозановых нитей являются водные растворы NaOH, смеси спирта и воды, смеси спирта и водного раствора NaOH, водного раствора NaOH и H_2SO_4 [2, 4…6]. Нередко также можно встретить данные по использованию ацетона в качестве осадителя, а также добавлению в промывочные ванны КОН или метанола для последующей нейтрализации получаемых волокон [7]. Использование хлорида кальция с 50% водным раствором этанола позволяет получить волокна, пригодные для биомедицинского применения, за счет экологичности процесса формования [3].

Исследования, проведенные в работе [8], показали, что наиболее однородная и стабильная структура образуется при осаждении раствора хитозана этанольно-щелочной смесью. Это позволило авторам рекомендовать спиртово-щелочную смесь в качестве осадителя для формования хитозановых волокон медицинского назначения мокрым методом.

При этом особенности взаимодействия уксусно-кислотных растворов хитозана со щелочной смесью, процессы осаждения раствора и формирования структуры волокна при осаждении изучены недостаточно. Данных о взаимодействии композиционных растворов с осадителем в литературе не представлено.

Известно, что модификация материалов наночастицами различной природы и морфологии является одним из эффективных методов регулирования их физико-механических и биологических свойств. В работах [9…11] в качестве нанокомпонента предложено использовать нанофибриллы хитина (НФХ). Хитин близок по химической структуре к хитозану, является исходным сырьем для получения хитозана. Хитин, так же как и хитозан, обладает необходимой биосовместимостью, способностью к биорезорбции, отсутствием цитотоксичности и имеет схожие области применения. Введение НФХ улучшает процесс формования, приводит к повышению механических характеристик композиционных материалов [9], усиливает их гемостатический эффект [11].

Целью данной работы является исследование влияния состава спиртово-щелочной смеси на условия осаждения раствора хитозана, а также его смеси с нанофибриллами хитина.

Исследование проводилось "методом капли", предложенным в работе [12]. "Метод капли" заключается в моделировании осаждения капли полимерной системы, окруженной осадителем. Он позволяет качественно описать процесс взаимодиффузии осадителя и растворителя, прогнозировать морфологию поперечного сечения волокна в зависимости от состава раствора и осадителя, а также изучить кинетику осаждения [12].

Материалы и методы исследования

Для приготовления растворов использовали креветочный хитозан производства Biolog Heppe Gmbp (Германия) с молекулярной массой – $1{,}64 \cdot 10^5 \ldots 2 \cdot 10^5$, степенью деацетилирования – 92,4% и нанофибриллы хитина (НФХ) производства Mavi Sud s.r.l (Италия). Содержание нанофибрилл хитина в водной дисперсии составляло 20 мг/мл.

Хитозан перемешивали в воде в течение 30 мин для его набухания. После этого в смесь вводили раствор уксусной кислоты при постоянном перемешивании, доводя концентрацию кислоты в растворителе до 2%. Концентрация полимера в растворе составляла 4,0 мас.%, эта концентрация является оптимальной для формования волокон коагуляционным способом. Раствор хитозана перемешивали в течение 90 мин при комнатной температуре (25 °С) [13].

Для получения композиционных растворов НФХ диспергировали в воде в течение 10 мин на ультразвуковом диспергаторе УЗВ-1.3 (Россия) при частоте 40 кГц. В полученную водную дисперсию добавляли хитозан таким образом, чтобы соотношение полимеров хитозан/хитин в растворе составляло 99,5/0,5; 95/5; 70/30, обеспечивая при этом суммарную концентрацию полимеров 4 мас.%. Далее растворы готовили по описанной выше схеме [14…17].

В качестве осадителя использовались спиртово-щелочные смеси 10% водный раствор NaOH / этанол в соотношении компонентов: 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100.

Исследование осаждения растворов на основе хитозана проводили "методом капли", описанным в работе [12]. Фиксировали время осаждения и расстояние от края капли до линии фронта осаждения (рис. 1).

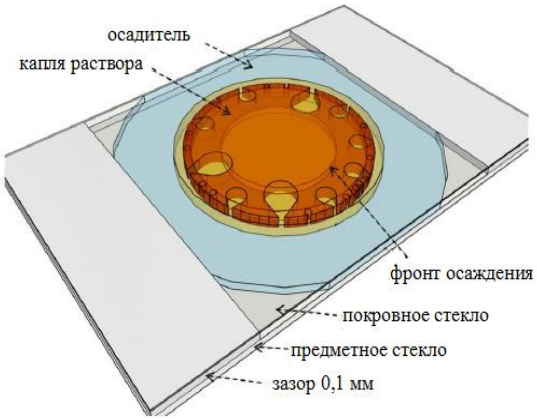


Рис. 1

Формование волокон осуществляли мокрым методом на лабораторной установке ИВС РАН. Условия формования волокон из хитозана и композиционных волокон приведены в работе [13].

Морфология хитозановых и композиционных волокон исследовалась на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) SUPRA 55VP фирмы ZEISS (Германия). Образцы предварительно покрывались платиной методом катодного распыления (15…20 нм). Для исследования морфологии поперечного сечения получали скол волокна в жидком азоте.

Измерения механических свойств (прочности, модуля Юнга и удлинения при разрыве) проводили с использованием комплекса для исследования механических свойств фирмы "Инстрон" 5943. Зажимная длина составляла 100 мм. Перед испытаниями нити выдерживались при нормальных климатических условиях (относительной влажности 66%) не менее 24 часов.

Результаты и обсуждения

Степень взаимодействия осадителя с раствором можно разделить на "жесткую" и "мягкую" [1, 12, 19]. При "жестком" осаждении энергия взаимодействия растворителя с осадителем значительно превышает энергию взаимодействия макромолекул полимера и растворителя, что способствует быстрой коагуляции. Высокая скорость удаления растворителя из полимерного раствора может привести к затвердеванию поверхности струи и образованию плотной "корки". При этом диффузионные процессы и фазовое разделение в растворе происходят неоднородно по сечению волокна. В результате формируется морфология типа "оболочка-ядро" с большим количеством пустот и дефектов [12]. Чаще всего использование "жестких" осадителей обусловливается необходимостью получения пористой структуры материала, в частности при создании полимерных пористых мембран [20…22].

Для уксусно-кислотных растворов хитозана "жестким" считается щелочной осадитель, например, 10% раствор NaOH [8].

Чтобы смягчить процесс коагуляции, обычно повышают сродство коагулянта к растворителю [12]. Это можно сделать, разбавив жесткий коагулянт растворителем или снизив скорость взаимной диффузии растворителя и коагулянта за счет увеличения вязкости диффундирующих компонентов [12]. В работе [8] предложено добавление в щелочной осадитель этанола, смягчающего взаимодействие ацетата хитозана с раствором щелочи. Использование спиртово-щелочного осадителя способствует формированию более однородной, менее пористой структуры пленки.

Важным параметром, оказывающим влияние на процесс осаждения струи и формирование структуры нити, является скорость осаждения. Для полного фазового разделения (осаждения) необходимо, чтобы рост концентрированной фазы значительно опережал рост разбавленной фазы [12, 23, 24]. Время осаждения, в течение которого происходит фазовое разделение, в значительной мере определяет технологию получения волокна.

Исследовано влияние состава осадителя на кинетику осаждения капли формовочного раствора. В табл. 1 приведены времена осаждения капли хитозанового и композиционных растворов. Диаметр капли всех растворов составлял 1400…1450 мкм.

Таблица 1

Номер образца	Раствор. Соотношение компонентов		Соотношение компонентов NaOH:этанол Время осаждения капли, с			
	хитозан	НФХ	100:0	75:25	50:50	25:75
1	100	0	42±4	50±5	62±6	90±8
2	99,5	0,5	42±2	50±3	61±4	98±6
3	95	5	42±4	49±3	61±4	102±6
4	70	30	42±3	48±4	62±4	осаждение наблюдалось не во всех экспериментах

Кинетика осаждения представлена на рис. 2.

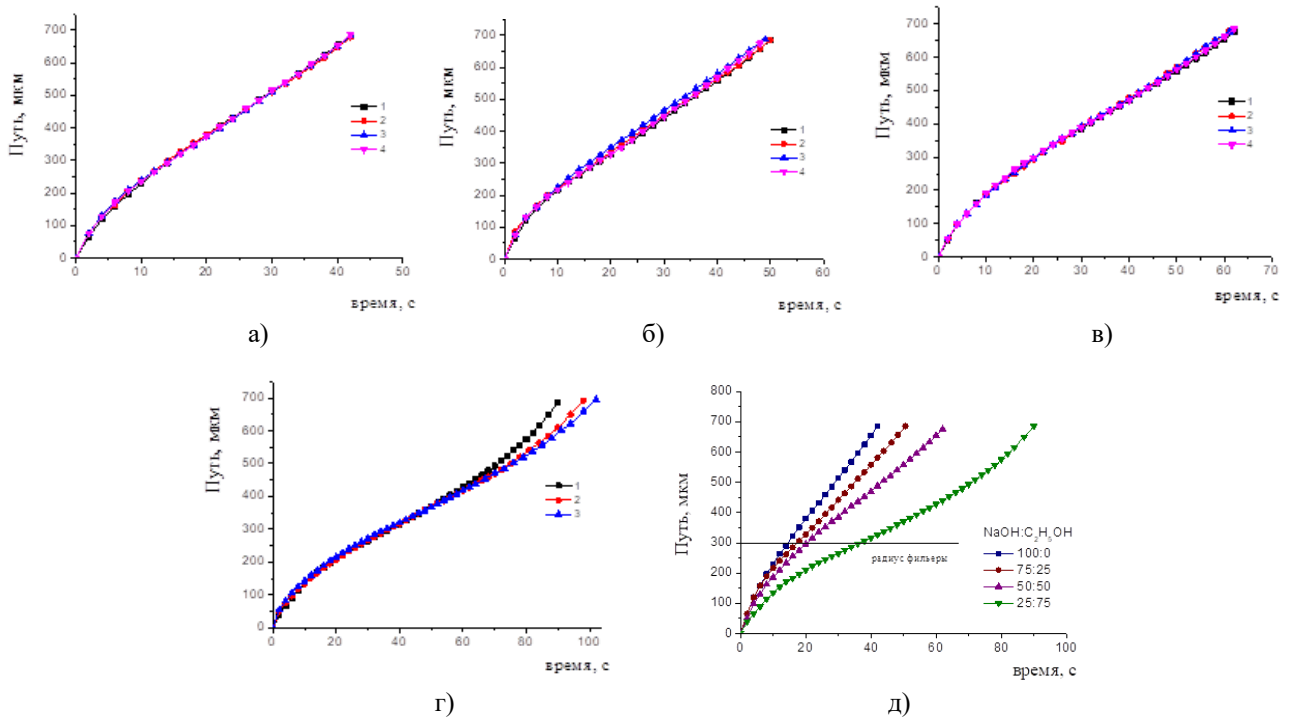


Рис. 2

Эксперименты показали (табл. 1, рис. 2), что время осаждения всех исследуемых растворов зависит от вида осадителя, в то время как добавление НФХ не оказывает выраженного влияния на кинетику коагуляции. Быстрее всего коагуляция происходит в 10 %-м растворе NaOH, время осаждения составляет 42 с (табл. 1, рис. 2, а). С увеличением содержания этанола и, соответственно, снижением содержания щелочи в осадителе скорость осаждения снижается. Так, при использовании спиртово-щелочного осадителя с содержанием спирта 25 % время осаждения растворов составляет 48…50 с, с содержанием спирта 50% – 61…62 с, увеличение содержания спирта до 75 % приводит к увеличению времени осаждения до 90…100 с.

Процесс коагуляции раствора хитозана можно описать следующей схемой. На первом этапе в процессе активного взаимодействия щелочи осадителя с уксусно-кислотным раствором хитозана на поверхности капли формируется гелеобразная оболочка с повышенной концентрацией осадителя, который постепенно диффундирует в объем капли. Наибольшая скорость коагуляции наблюдается в первые 10…15 с для всех исследуемых осадителей. Затем скорость осаждения постепенно снижается вследствие уменьшения концентрации осадителя при его взаимодействии с раствором. С увеличением содержания спирта в осадителе это снижение становится более выраженным.

На втором этапе происходит стационарный процесс проникновения осадителя

внутрь капли раствора, обусловленный кинетикой массопереноса растворителя и осадителя через сформированную гель-оболочку капли. При использовании щелочного и спиртово-щелочных осадителей с содержанием спирта до 50% этот процесс постоянен вплоть до полного разделения фаз, о чем свидетельствует наличие практически линейных участков на кривых 1–4 (рис. 2, а-в). Фронт осаждения распространяется по радиусу капли от ее поверхности к центру. Для осадителя, содержащего 75% этанола (рис. 2, г), характер процесса осаждения существенно изменяется. Зависимость фронта осаждения от времени приобретает S-образный вид.

Следует отметить, что как растворитель, так и осадитель представляют собой водные растворы, т. е. имеют один общий компонент – воду. Присутствие воды (не растворителя) в обеих взаимодействующих средах способствует равномерной и мягкой взаимодиффузии коагулянта в каплю и растворителя из капли, постепенному изменению pH и снижает осмотическое давление при фазовом разделении раствора на обогащенные полимером (концентрированную) и растворителем (разбавленную) фазы. Эти явления препятствуют образованию дефектов при коагуляции. Осажденная капля имеет гомогенную структуру (рис. 3).

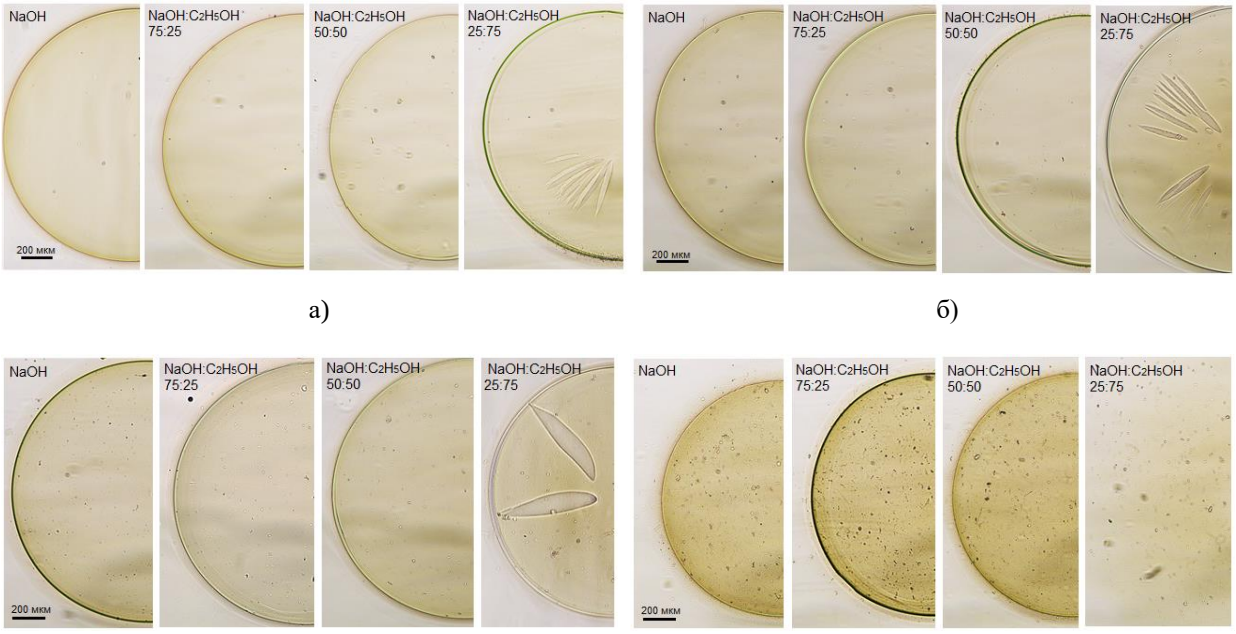


Рис. 3

В первые секунды для всех осадителей (рис. 3, а-в) коагуляция протекает быстро, на поверхности капли формируется гелеобразная оболочка, толщина которой увеличивается по мере движения коагулянта внутрь капли. Однако для сильно разбавленного спиртом осадителя процесс формирования геля замедляется. Для протекания процесса фазового разделения требуется достаточное количество коагулянта – NaOH. При дефиците NaOH в реакционной смеси образуется избыток кислоты и неосажденного раствора. Это приводит к формированию вакуолей, областей с составом, отличным от геля, состоящего из макромолекул полимера и осадителя (рис. 3, правые колонки). Вакуоли имеют вытянутую форму, их большие оси направлены от периферии капли к центру, такое направление имеют конвективные потоки осадителя и растворителя. Естественно предположить, что макромолекулы хитозана, а также наночастицы наполнителя имеют такую же преимущественную ориентацию. Это подтверждают данные рис. 3, а, б. При этом содержание в растворе хитозана 0,5 мас. % НФХ

приводит к росту числа вакуолей, повышенному контрасту их изображений на фото. Это позволяет предположить, что НФХ расположены как внутри вакуоли, так и по границе раздела капля-вакуоль. Это препятствует диффузии жидкой фазы содержимого вакуолей в среду капли.

Наличие вакуолей наблюдается и для раствора хитозана с повышенным содержанием НФХ. При этом, как видно из рис. 3 (правые картинки), с увеличением концентрации НФХ вакуоли становятся крупнее. Чем крупнее вакуоли, тем больше замедляется процесс осаждения (рис. 2, г). Увеличение размеров вакуолей с ростом концентрации НФХ может быть вызвано снижением вязкости композиционного раствора за счет уменьшения концентрации хитозана в растворе [15], способствующим конвективным потокам и образованию "жесткой" сетки зацепления НФХ, ограничивающей подвижность макромолекул. В пользу этого свидетельствуют данные рис. 3, в, г, из которых видно, что при повышенном содержании НФХ образуются агломераты, отображенные на фото в виде областей темного цвета, которые можно наблюдать для осадителей различного состава.

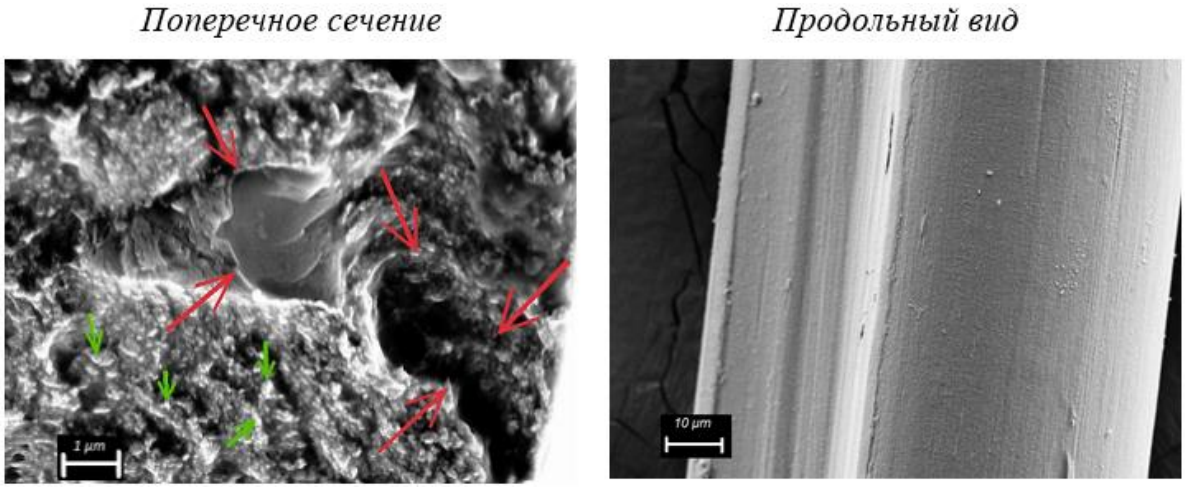
При высоком наполнении НФХ (30 мас. %) вязкость раствора [15] оказывается слишком низкой. Моделирование осаждения такой смеси методом капли показало, что осаждение происходит лишь частично либо вовсе отсутствует (рис. 4).



Рис. 4

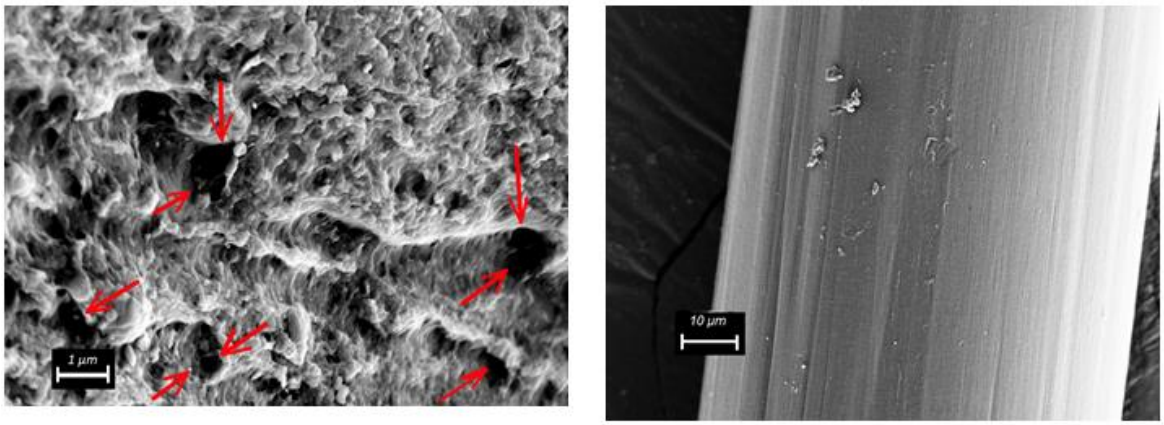
Таким образом, моделирование осаждения раствора хитозана и его смесей с НФХ методом капли позволило качественно описать процесс взаимодиффузии осадителя и растворителя. На основании проведенных исследований можно заключить, что смесь 10 %-го раствора NaOH с этанолом в соотношении 1:1 может быть рекомендована для формования волокон на основе хитозана.

Из всех рассматриваемых систем 10 %-й раствор NaOH является самым "жестким" осадителем. Коагуляция происходит достаточно быстро. Структура хитозанового волокна характеризуется наличием мелкодисперсных слабосвязанных частиц (рис. 5, а – сечение, выделены зелеными стрелками) и высокой пористостью.

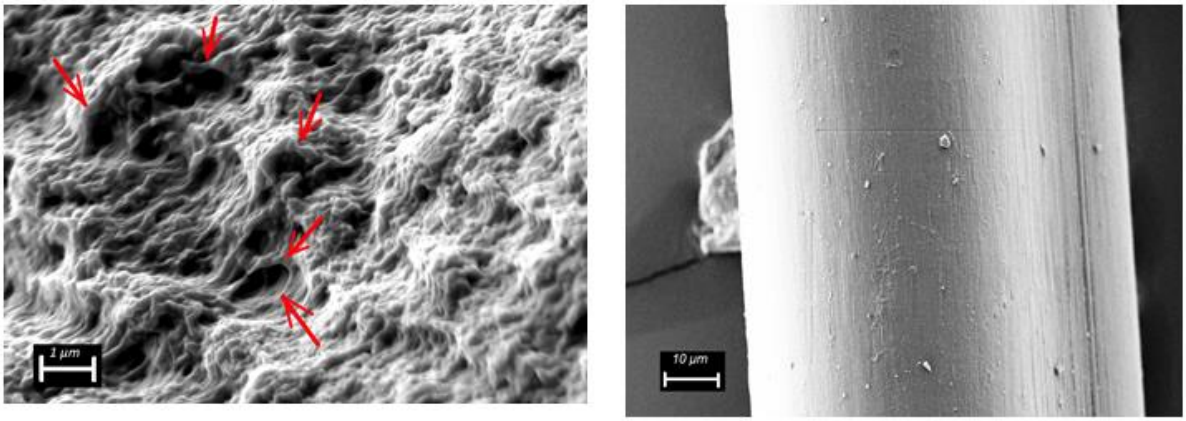


а)

Рис. 5



б)



в)

Рис. 5 (окончание)

Формирование пористой структуры препятствует достижению высоких прочностных и деформационных характеристик волокон. Механические свойства волокон (прочность σ, модуль Юнга E и относительное удлинение при разрыве ε) значительно ниже соответствующих характеристик волокон, полученных в спиртово-щелочном осадителе, и практически не зависят от скорости подачи раствора Q (табл. 2).

Таблица 2

Скорость подачи раствора Q, мл/мин	Время нахождения струи в осадительной ванне, с	Линейная плотность волокна T, текс	Прочность σ, МПа	Модуль Юнга E, ГПа	Удлинение при разрыве ε, %
Осадительная ванна: 10% водный раствор NaOH					
0,1	124,0	10,0	181±7	10,4±0,5	7,9±2,0
0,5	25,0	9,8	197±13	11,2±0,6	7,4±0,9
1,0	12,5	9,4	168±11	10,2±0,6	5,4±0,8
Осадительная ванна: спиртово-щелочная смесь, содержащая 10 % водный раствор NaOH и C_2H_5OH в соотношении компонентов: 75:25					
0,1	124,0	12,2	210±31	12,1±2,3	7,8±2,3
0,5	25,0	10,5	184±8	10,8±0,4	8,1±1,1
1,0	12,5	9,0	189±10	10,8±0,3	7,7±1,9
Осадительная ванна: спиртово-щелочная смесь, содержащая 10 % водный раствор NaOH и C_2H_5OH в соотношении компонентов: 50:50					
0,1	124,0	8,9	215±9	12,6±0,2	7,8±0,85
0,5	25,0	9,2	203±20	12,0±1,1	5,7±1,51
1,0	12,5	8,0	193±12	13,4±1,5	5,6±0,9

Близкие значения механических свойств волокон, полученных при разных скоростях подачи раствора Q, обусловлены быстрым осаждением волокна (рис. 2, а) и полностью завершенным процессом первичного структурообразования в осадительной ванне. При максимальной скорости подачи раствора Q=1 мл/мин время нахождения струи в осадительной ванне составляет 12,5 с. При радиусе фильеры 300 мкм этого времени достаточно для полного осаждения нити (рис. 2, д).

Более гомогенная и менее пористая структура формируется при осаждении волокна в спиртово-щелочной смеси (рис. 5, б, в – сечение). В структуре волокна отсутствуют изолированные, слабо связанные частицы. Диффузия осадителя в струю раствора хитозана происходит с оптимальной скоростью, при этом процесс осаждения и, соответственно, процесс формирования структуры происходят равномерно по всему объему. При скоростях подачи раствора $Q \leq 0{,}5\ldots0{,}6$ мл/мин времени нахождения струи в осадительной ванне достаточно для полного осаждения волокна, при этом "мягкое" и медленное осаждение способствует формированию гомогенной структуры волокна.

Размер пор (рис. 5, б, в – сечение) значительно снижается по сравнению с размерами пор волокон, полученных в щелочном осадителе (рис. 5, а – сечение). Так, в случае использования спиртово-щелочной смеси с соотношением компонентов 75:25 при скорости подачи раствора Q=0,1 мл/мин размер пор не превышает 300 нм в сердцевине волокна и 1,5 мкм у внешнего края. Поры волокна, полученного при Q=1 мл/мин, более крупные и имеют размеры до 600 нм и 2 мкм соответственно. Пористость волокна, полученного осаждением в спиртово-щелочной ванне с соотношением компонентов 1;1, менее выражена. Уменьшение пористости можно объяснить более медленным фазовым распадом. Поверхность таких волокон более гладкая и равномерная, чем волокон, полученных осаждением в растворе щелочи (рис. 5, б, в – продольный вид).

Из данных табл. 2 видно, что волокна, полученные с использованием спиртово-щелочного осадителя, имеют улучшенные механические характеристики. При этом наблюдается их зависимость от скорости подачи раствора Q и времени пребывания волокна в осадительной ванне, что связано с медленными процессами осаждения струи раствора хитозана и формирования структуры волокна. Максимальные значения напряжения и удлинения при разрыве характерны для волокон, полученных при небольших скоростях подачи Q=0,1 мл/мин. При увеличении скорости подачи прочность, модуль Юнга и удлинение при разрыве волокон снижаются.

Таким образом, осаждение нити в спиртово-щелочной смеси способствует формированию более гомогенной структуры. Такие волокна характеризуются высокими прочностными и деформационными свойствами.

Процесс формования композиционных волокон, содержащих НФХ, характеризуется большей стабильностью по сравнению с формованием волокон из чистого хитозана. Существенно меньшее количество разрывов струи полимера в осадительной ванне обусловлено ее ламинарностью, хорошей совместимостью НФХ с макромолекулами хитозана, ориентацией как НФХ, так и макромолекул в сдвиговом поле при прохождении раствора через фильеру [9]. Кроме того, при небольших добавках НФХ повышаются механические свойства волокон (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение компонентов хитозан/НФХ	Линейная плотность волокна *T*, текс	Прочность σ, МПа	Модуль Юнга *E*, ГПа	Удлинение при разрыве ε, %
100/0	7,6	241±8	13,8±0,5	6,3±0,6
99,5/0,5	7,4	259±9	14,5±0,6	6,0±0,3
99/1	7,4	237±11	14,4±0,7	5,9±0,8
95/5	7,2	234±10	14,1±0,6	5,4±0,7
90/10	6,8	229±10	14,3±0,7	4,9±0,4
70/30	6,6	178±9	14,1±0,8	3,9±0,6

Заключение

Моделирование осаждения раствора хитозана и его смесей с НФХ методом капли позволило качественно описать процесс взаимодиффузии осадителя и растворителя. На основании проведенных исследований можно заключить, что смесь 10 %-го раствора NaOH с этанолом в соотношении 1:1 может быть рекомендована для формования волокон на основе хитозана. Поверхность таких волокон гладкая, структура поперечного сечения гомогенная, не содержит микропор.

Структура хитозанового волокна, осажденного в 10 %-й раствор NaOH, характеризуется наличием мелкодисперсных слабосвязанных частиц и высокой пористостью микронного размера.

Введение НФХ в раствор хитозана не влияет на время фазового распада струи, содержащей до 50 % этанола, в то же время значительно повышает ламинарность струи в осадительной ванне, стабильность процесса формирования волокна. Такие волокна обладают улучшенными механическими характеристиками. Рекомендуемая концентрация НФХ – 0,3…0,5 мас.%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Раева А.Ю., Матвеев Д.Н., Жанситов А.А. и др.* Свойства ультрафильтрационных половолоконных мембран, полученных сухо-мокрым способом формования, на основе нового полифениленсульфона // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5(407). С. 74…80. – DOI: 10.47367/0021-3497_2023_5_74

2. *Петрушина В.Ю., Трегубов А.В., Ерзунов К.А., Одинцова О.И.* Формирование двухкомпонентных наноразмерных покрытий Ag / хитозан для антимикробной отделки тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5(419). С. 248…256. – DOI: 10.47367/0021-3497_2025_5_248.

3. *Tamura H., Tsuruta Y., Itoyama K. etc.* Preparation of chitosan filament applying new coagulation system // Carbohydrate Polymers. 2004, 56 (2), P. 205…211.

4. *East G.C., Qin Y.* Wet spinning of chitosan and the acetylation of chitosan fibers // Journal of Applied Polymer Science. 1993. № 10 (50). С. 1773…1779.

5. *Добровольская И.П. и др.* Полимерные матрицы для тканевой инженерии. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация университетов России, 2016. 224 с.

6. *Pillai C.K.S., Paul W., Sharma C.P.* Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation // Progress in Polymer Science. 2009, 34. P. 641…678.

7. *Majeti N.V., Kumar Ravi.* A review of chitin and chitosan applications // Reactive & Functional Polymers. 2000, Vol. 46. P. 1…27.

8. *Dobrovolskaya I.P., Sudareva N.N., Mayevskaya E.N. etc.* Influence of ethanol–alkali mixture on the structure of chitosan fibers and film coatings // Textile Research Journal, 2021. February, 1. – DOI: 10.1177/0040517520986515

9. *Yudin V.E., Dobrovolskaya I.P., Neelov I.M. etc.* Wet spinning of fibers made of chitosan and chitin nanofibrils // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 108. P. 176.

10. *Sriupayo J., Supaphol P., Blackwell J., Rujiravanit R.* Preparation and characterization of α-chitin whisker-reinforced chitosan nanocomposite films with or without heat treatment // Carbohydrate Polymers. 2005. V. 62. №2. P. 130.

11. *Maevskaia E.N., Kirichuk O.P., Kuznetzov S.I. etc.* Hemocompatible Chitin-Chitosan Composite Fibers // Cosmrtics. 2020. 7, 28; doi:10.3390/cosmetics7020028.

12. *Скворцов И.Ю.* Выявление и развитие физико-химических принципов формирования волокон из растворов полимеров различной природы: дис. … д-ра хим. наук. М., 2025. 362 с.

13. *Dresvyanina E., Yudenko A., Yevlampieva N. etc.* The molecular mass effect on mechanical properties of chitosan // FIBRES and TEXTILES. 2018, 25(2), P. 27…31. – ISSN: 1335-0617.

14. *Дресвянина Е.Н., Гребенников С.Ф., Добровольская И.П. и др.* Влияние нанофибрилл хитина на сорбционные свойства композиционных пленок на основе хитозана // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2020, Т. 62, №3. С. 181…188. – DOI: 10.31857/S2308112020030050

15. *Dresvyanina E.N., Grebennikov S.F., Elokhovskii V.Yu. etc.* Thermodynamics of interaction between water and the composite films based on chitosan and chitin nanofibrils // Carbohydrate Polymers. 2020. 245, 1 October, 116552

16. *Dresvyanina E.N., Kodolova-Chukhontseva V.V., Bystrov S.G. etc.* Influence of Surface Morphology of Chitosan Films Modified by Chitin Nanofibrils on Their Biological Properties // Carbohydrate Polymers. 2021, 117917. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117917

17. *Kodolova-Chukhontseva V.V., Maevskaia E.N., Dobrovolskaya I.P. etc.* Influence of chitin nanofibrils ultrasonic treatment on structure and properties of chitosan-based composite materials // Carbohydrate Polymers, 2022. 285, 1 June 2022, 119194. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119194

18. *Nunes R.W., Martin J.R., Johnson J.F.* Influence of molecular weight and molecular weight distribution on mechanical properties of polymers // Polymer Engineering & Science. Wiley Online Library. 1982, V. 22, № 4. P. 205…228. – DOI: 10.1002 /pen.760220402.

19. *Radishevskii M., Serkov A.* Coagulation mechanism in wet spinning of fibres // Fibre Chemistry. Springer. 2005. V. 37. № 4. P. 266…271. – DOI: 10.1007/s10692-005-0092-7.

20. *Mulder M.* Basic Principles of membrane technology. Center for Membrane Science and Technology.

2th ed. University of Twente, The Netherlands. Dortrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996, p. 584.

21. *Baker R.W.* Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc. 2012, p. 590.

22. *Dobrovolskaya I.P., Popryadukhin P.V., Yudin V.E. etc.* Structure and properties of porous films based on aliphatic copolyamide developed for cellular technologies J Material Sci: Materials in medicine 2015; 26: 46.

23. *Papkov S.P.* Jelly-like state of polymers (in Russian). Moscow: Khimiya, 1974.

24. *Папков С.П., Роговин З.А.* Физико-химические основы производства искусственных и синтетических волокон. М.: Химия, 1972. 312 р.

R E F E R E N C E S

1. *Raeva A.Y., Matveev D.N., Zhansitov A.A. etc.* Properties of ultrafiltration hollow fiber membranes, obtained by dry-jet wet spinning process, based on a new polyphenylene sulfone // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, 407 (5), pp. 74…80. – DOI: 10.47367/0021-3497_2023_5_74

2. *Petrushina V.Yu., Tregubov A.V., Erzunov K.A., Odintsova O.I.* Formation of two-component nano-sized Ag/chitosan coatings for antimicrobial finishing of fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 419 (5), pp. 248…256. – DOI: 10.47367/0021-3497_2025_5_248.

3. *Tamura H., Tsuruta Y., Itoyama K. etc.* Preparation of chitosan filament applying new coagulation system // Carbohydrate Polymers. 2004, 56 (2), P. 205…211.

4. *East G.C., Qin Y.* Wet spinning of chitosan and the acetylation of chitosan fibers // Journal of Applied Polymer Science. 1993. № 10 (50). P. 1773…1779.

5. *Dobrovolskaya I.P., Yudin V.E., Popryadukhin P.V., Ivankova E.M.* Polymer matrices for tissue engineering. SPb., 2016. 224 p.

6. *Pillai C.K.S., Paul W., Sharma C.P.* Sharma Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation // Progress in Polymer Science. 2009, 34. P. 641…678.

7. *Majeti N.V., Kumar Ravi.* A review of chitin and chitosan applications // Reactive & Functional Polymers. 2000, Vol. 46. P. 1…27.

8. *Dobrovolskaya I.P., Sudareva N.N., Mayevskaya E.N. etc.* Yudin Influence of ethanol–alkali mixture on the structure of chitosan fibers and film coatings // Textile Research Journal, 2021. February,1. – DOI: 10.1177/0040517520986515

9. *Yudin V.E., Dobrovolskaya I.P., Neelov I.M. etc.* Wet spinning of fibers made of chitosan and chitin nanofibrils // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 108. P. 176.

10. *Sriupayo J., Supaphol P., Blackwell J., Rujiravanit R.* Preparation and characterization of α-chitin whisker-reinforced chitosan nanocomposite films with or without heat treatment // Carbohydrate Polymers. 2005, V. 62. №2. P. 130.

11. *Maevskaia E.N., Kirichuk O.P., Kuznetzov S.I. etc.* Hemocompatible Chitin-Chitosan Composite Fibers // Cosmrtics. 2020. 7, 28; doi:10.3390/cosmetics7020028.

12. *Skvortsov I.Yu.* Identification and development of physical and chemical principles for the formation of fibers from solutions of polymers of various natures. Thesis of doctor degree. M., 2025. 362 p.

13. *Dresvyanina E., Yudenko A., Yevlampieva N. etc.* The molecular mass effect on mechanical properties of chitosan // FIBRES and TEXTILES. 2018, 25(2), P. 27…31. – ISSN: 1335-0617.

14. *Dresvyanina E.N., Grebennikov S.F., Dobrovol'skaya I.P. etc.* Effect of chitin nanofibrils on the sorption behavior of chitosan-based composite films // Polymer Science. Series A. 2020. T. 62. № 3. C. 205…212. – DOI: 10.31857/S2308112020030050

15. *Dresvyanina E.N., Grebennikov S.F., Elokhovskii V.Yu. etc.* Thermodynamics of interaction between water and the composite films based on chitosan and chitin nanofibrils // Carbohydrate Polymers. 2020. 245, 1 October, 116552

16. *Dresvyanina E.N., Kodolova-Chukhontseva V.V., Bystrov S.G. etc.* Influence of Surface Morphology of Chitosan Films Modified by Chitin Nanofibrils on Their Biological Properties // Carbohydrate Polymers, 2021, 117917. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117917

17. *Kodolova-Chukhontseva V.V., Maevskaia E.N., Dobrovolskaya I.P. etc.* Influence of chitin nanofibrils ultrasonic treatment on structure and properties of chitosan-based composite materials // Carbohydrate Polymers, 2022. 285, 1 June 2022, 119194, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119194

18. *Nunes R.W., Martin J.R., Johnson J.F.* Influence of molecular weight and molecular weight distribution on mechanical properties of polymers // Polymer Engineering & Science. Wiley Online Library. 1982, V. 22, № 4. P. 205…228. – DOI: 10.1002 /pen.760220402.

19. *Radishevskii M., Serkov A.* Coagulation mechanism in wet spinning of fibres // Fibre Chemistry. Springer. 2005, V. 37. № 4. P. 266…271. – DOI: 10.1007/s10692-005-0092-7.

20. *Mulder M.*Basic Principles of membrane technology. Center for Membrane Science and Technology. 2th ed. University of Twente, The Netherlands. Dortrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996, p. 584.

21. *Baker R.W.* Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc. 2012, p. 590.

22. *Dobrovolskaya I.P., Popryadukhin P.V., Yudin V.E. etc.* Structure and properties of porous films based on aliphatic copolyamide developed for cellular technologies J Material Sci: Materials in medicine 2015; 26: 46.

23. *Papkov S.P.* Jelly-like state of polymers (in Russian). Moscow: Khimiya, 1974.

24. *Papkov S.P., Rogovin Z.A.* Physicochemical principles of production of artificial and synthetic fibers. M.: Химия, 1972. 312 p.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Института текстиля и моды СПбГУПТД. Поступила 26.03.26.

УДК 687.02
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_236

ОСОБЕННОСТИ ЭТАПОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГРАДАЦИИ ДЕТАЛЕЙ ОДЕЖДЫ МЕТОДОМ МАСШТАБИРОВАНИЯ

FEATURES OF THE STAGES OF AUTOMATED GRADING OF CLOTHING PARTS USING SCALING METHOD

В.А. МАСАЛОВА, Т.В. БУТКО

V.A. MASALOVA, T.V. BUTKO

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

(The Kosygin State University)

E-mail: vammgu@yandex.ru

В статье рассмотрены основные недостатки традиционных методов градации и перечислены преимущества градации методом масштабирования. Проведен сравнительный анализ градации методом масштабирования с пропорционально-расчетным методом. Разработана электронная таблица Excel, в которой для каждого параметра, изменяющегося при вертикальной деформации в столбцах сетки градации, разработана расчетная страница, которая одновременно является аналитической, контролирующей малейшие отклонения как в цифровом значении, так и в виде графиков и гистограмм. При градации по ростам в столбцах сетки градации интересным представляется разработанная технология сохранения пропорций высоты оката рукава и его ширины под проймой относительно рукава исходного размероростa. В работе подробно рассматривается вопрос о вытачке в конструкции одежды, которая сохраняет измерение в градусах на диагонали сетки градации. В результате метод масштабирования определен как наиболее перспективный для широкого внедрения в производство одежды в САПР.

The article examines the main stages of grading using the scaling method for clothing designs, identifies the shortcomings of traditional grading methods, and lists the advantages of grading using the scaling method. A comparative analysis of gradation using the scaling method with the proportional-calculated gradation method was carried out. An Excel spreadsheet has been developed in which a calculation page is created for each parameter that changes during vertical deformation within the grading grid columns; this page serves an analytical function, monitoring even the slightest deviations through numerical values, graphs, and histograms. Regarding height-based grading within the grid columns, a particularly interesting feature is the developed technology for maintaining the proportions of the sleeve cap height and the under-arm sleeve width relative to the base size-height

sleeve. The study also provides a detailed analysis of the garment dart, focusing on how it preserves angular measurements along the diagonal of the grading grid. Ultimately, the scaling method is identified as the most promising approach for widespread implementation in CAD-based garment manufacturing.

Ключевые слова: градация в САПР; пропорции ширин базисной сетки БК; типы телосложения.

Keywords: gradation in CAD; width proportions of the basic construction grid; body types.

Введение

Программа, без которой не может существовать ни одно швейное производство, – это градация лекал [1, 2] или техническое размножение. Градацию лекал деталей одежды производят отдельно по размерам и ростам. Градацию лекал модели по полнотным группам выполняют редко, так как типовые фигуры одного и того же размера и роста в различных полнотных группах имеют различное телосложение [3]. Градация лекал – завершающий этап процесса конструкторско-технологической подготовки производства одежды, имеющий крайне важное значение для массового производства. В прежние времена объем партии одной модели составлял десятки тысяч, а теперь едва достигает сотни, а иногда и десятка единиц. Организовать производство в условиях быстро меняющихся технологий практически невозможно без использования САПР [4…6]. Современный рынок предлагает широкий выбор САПР. Стремясь опередить конкурентов, производители САПР создают новые модули и функции, которые, со слов разработчиков, должны упростить работу конструктора [7, 8].

Для выполнения градации в отсутствие вычислительной техники десятилетия назад были разработаны типовые схемы, позволяющие вручную получать лекала других размеров и ростов в приближенном виде (пропорционально-расчетный способ или традиционная градация).

В первых непараметрических системах, таких как Гербер, Лектра, Инвестроника и др., использовалась научная база ручных методов градации, а лекала в компьютер вводили сколкой операторы.

Разработчики параметрических САПР утверждают, что в отличие от градации по межразмерным приращениям, задаваемым самим конструктором, градация по размерным признакам выполняется программой полностью автоматически, т. е. без необходимости какого-либо вмешательства со стороны конструктора. Но при этом конструктору нужно программно описать построение конструкции.

Кроме непараметрических и параметрических есть комбинированные системы. Например, в САПР "Ассоль" реализованы два подхода к выполнению градации: градация по приращениям и параметрическая градация [9]. Но, несмотря на все существующие варианты, от градации сложных модельных конструкций в промышленности часто отказываются, так как современные САПР не всегда могут проградировать сложные МК.

Основными недостатками конструкций, проградированных в современных САПР одежды, в зависимости от применяемых методов являются:

– нарушение динамики изделий из-за изменения пропорций ширины основных участков базисной сетки;

– нарушение сопряженности и соразмерности срезов;

– увеличение раствора верхней вытачки, что не только ухудшает посадку, но и искажает форму проймы;

– изменение нормы посадки оката рукава на соответствующих участках проймы (даже до отрицательных значений);

– визуальное искажение формы оката, что свидетельствует о нарушении пропорций высоты оката к его ширине;

– изменение величины углов.

История создания градации методом масштабирования

Метод градации масштабированием, принципиально отличающийся от традиционно применяемых методов, был разработан в универсальной системе инженерной графики AutoCAD на кафедре технологии швейного производства (ныне кафедра художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий) Московского государственного университета дизайна и технологии и в 2004 году запатентован в РФ [10].

В 2004-2005 годах новый метод градации масштабированием был апробирован ОАО "Объединение Вымпел" на мужских куртках и комбинезонах со сложными элементами кроя (членения со шнуровкой, воздуховоды и др.), где традиционная градация затруднена. Также внедрение данного метода осуществлено на предприятии ООО "Сантар" по пошиву женских пальто и предприятии ООО "Бизнес-Леди" по пошиву женских костюмов. В течение четырех лет градация проверялась в промышленных условиях на предприятии "Луиза collection" в городе Орехово-Зуево. На всех предприятиях методика дала прекрасные результаты, подтвержденные не только опытными образцами, но и изготовлением опытных партий изделий [11…13].

Апробация метода градации масштабированием осуществлена на различном ассортименте женской, мужской и детской одежды. Суть метода заключается в масштабировании с одинаковыми коэффициентами по осям X и Y одновременно всех деталей МК исходного размероростa и получении деталей МК нужного размера и роста, соответствующего пропорциям исходной конструкции. В системе инженерной графики можно масштабировать без определения коэффициента, а с помощью ссылки на исходную ширину изделия по линии груди и получаемую после масштабирования.

Градация масштабированием исключает все недостатки существующих методов градации. Она включает новые подходы, средства и приемы расчетов.

Получение формы базовой конструкции

Описание построения конструкций в САПР одежды по какой-либо методике (ЕМКО СЭВ, МГУДТ, ЦОТШЛ и др.) для получения требуемых по проекту изделий определенных размеров и ростов дает первичную конструкцию, которая не гарантирует идеальную посадку на фигуре, поэтому требуется примерка с уточнением контуров конструкции. К тому же классический втачной рукав, как и другие виды втачного рукава, должен строиться в уточненную пройму БК, проверенную примеркой. Построение конструкции по любым методикам в ручном или компьютерном исполнении – это лишь первый шаг на пути получения формы базовой конструкции (ФБК). В Общесоюзном доме моделей (ОДМО) для "больших подиумов" такие примерки осуществляли до 15 раз, чтобы на любой фигуре данного размера и роста изделие "сидело". Известно также, что существующие методики не учитывают направления моды, а форма базовой конструкции меняется через каждые 11 лет [14, 15].

Исследованиями выявлено, что многие конструкторы испытывают при проектировании БК по методикам с традиционным распределением общей прибавки по груди нехватку этой прибавки к ширине спинки на больших размерах. Поэтому для получения исходной БК для любого размероростa нужно иметь в САПР одежды любую методику построения первичного чертежа, который после уточнения контуров чертежа примеркой должен быть сохранен в библиотеке БК, а еще лучше – описан построением по общим для многих методик формулам, но с заменой расчетов ширин спинки, проймы и переда через пропорции от общей ширины базисной сетки [16].

Исходя из вышеизложенного в САПР одежды, кроме программного построения БК по методикам (для получения первичного чертежа), необходимо заложить параметры пропорций ширин спинки, проймы и переда от общей ширины изделия с учетом типа телосложения конкретной фигуры, уточненные после проведения примерки.

Такая методика, где идет не распределение общей прибавки по груди между участками чертежа, а описание этих участков в пропорциях от ширины базисной сетки, дает при градации увеличение прибавки к ширине спинки на больших размерах и ее уменьшение на малых размерах, что легко выясняется расчетом разности между шириной спинки в конструкции и РП ширина спины (Шс).

Учет типов телосложения женских фигур

Различные сочетания измерений во фронтальной и профильной проекциях позволили выделить девять типов фигур [6, 17], представленных в виде схемы и данных к ней, отображенных на рис. 1.

В электронных таблицах Excel разработана технология определения типа телосложения женских фигур (табл. 1).

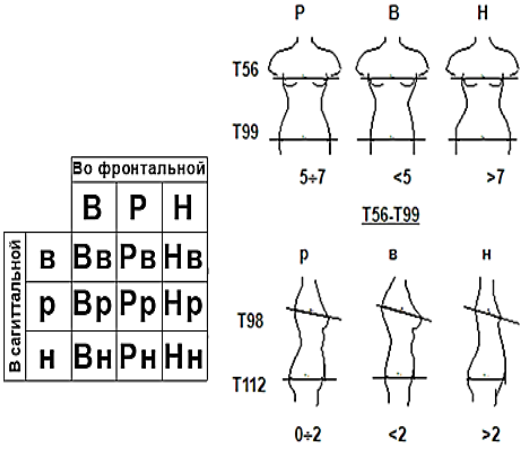


Рис. 1

Таблица 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	N п/п	Ф.И.О.	Размерные признаки											Величины измерений								
2			T1	T16	T19	T99 (dпг)	T56 (dпб)	T98 (dпзг)	T112 (dпзб)	T56-T99	T112-T98			Вдт	Вят	Вгжт	Вжт	Вбт	DT79	D T112		
3	1	Романова Ю.А.	162,5	96,7	103,5	28,4	37,2	25,1	24,5	8,8	-0,6	Н	в	2,5	4,3	2,7	5,2	7,8	1,8	2,5	Вя	Вж
4	2	Грунина Т.В.	168,0	98,2	103,4	32,1	38,7	25,6	29,4	6,6	3,8	Р	н	2,8	5,0	1,0	2,7	5,8	2,2	1,7	Вя	Вж
5	3	Баранова С.В.	153,5	82,0	93,5	27,5	31,0	21,9	25,4	3,5	3,5	В	н	3,6	3,8	1,4	3,7	8,8	0,2	2,3	Вя	Вж
6	4	Панкова	171,0	87,5	93,8	31,1	35,3	35,0	26,4	4,2	-8,6	В	в	6,2	6,2	0,0	1,7	6,5	0,0	1,7	0	Вж
7	5	Петрова	170,0	85,2	93,2	28,4	35,8	26,5	25,4	7,4	-1,1	Н	в	3,4	5,5	2,3	3,0	7,0	2,1	0,7	Вя	Вж
8	6	Шатилова	166,5	87,4	95,4	30,3	35,5	25,7	24,9	5,2	-0,8	Р	в	3,7	5,2	2,2	1,9	6,0	1,5	-0,3	Вя	Вгж
9	7	Шавера	172,0	86,3	94,5	28,0	35,4	31,8	23,4	7,4	-8,4	Н	в	2,5	4,2	1,2	1,2	7,3	1,7	0,0	Вя	0
10	8	Катьшкова	162,8	94,5	102,5	30,1	36,0	26,4	29,7	5,9	3,3	Р	н	6,0	7,0	2,7	1,8	3,8	1,0	-0,9	Вя	Вгж
11	9	Шестакова	155,5	81,4	90,2	27,5	32,2	32,4	24,8	4,7	-7,6	В	в	5,5	6,8	1,0	0,5	6,4	1,3	-0,5	Вя	Вгж
12	10	Остапчук	160,8	83,5	93,0	27,5	35,6	21,4	24,0	8,1	2,6	Н	н	4,7	6,0	1,0	2,0	7,8	1,3	1,0	Вя	Вж
13	11	Кучер	165,7	90,5	103,0	29,6	37,9	24,6	37,7	8,3	13,1	Н	н	6,3	7,7	0,8	1,7	7,1	1,4	0,9	Вя	Вж
14	12	Соколова	167,0	81,5	90,5	28,0	32,9	22,9	23,7	4,9	0,8	В	р	4,7	5,2	1,1	1,7	6,3	0,5	0,6	Вя	Вж
15	13	Мишина	157,7	84,3	95,5	30,8	35,3	23,3	24,1	4,5	0,8	В	р	4,7	6,5	1,0	0,7	6,0	1,8	-0,3	Вя	Вгж
16	14	Кузнецова	170,5	86,6	93,6	28,2	33,2	23,7	23,7	5,0	0,0	Р	р	5,6	5,5	1,5	1,5	6,5	-0,1	0,0	Вл	0
17	15	Баскакова	170,7	85,5	91,5	27,8	33,1	24,0	23,8	5,3	-0,2	Р	в	5,6	4,1	1,5	2,4	5,6	-1,5	0,9	Вл	Вж
18	16	Дубровина	159,5	88,5	100,0	27,6	36,1	24,5	25,0	8,5	0,5	Н	р	3,3	2,6	1,2	1,3	6,7	-0,7	0,1	Вл	Вж
19	17	Бисерова	169,5	87,5	100,0	29,2	35,6	25,4	28,7	6,4	3,3	Р	н	5,0	7,4	1,2	1,8	7,0	2,4	0,6	Вя	Вж
20	18	Грязнова	163,5	91,0	92,0	28,6	31,4	26,8	26,1	2,8	-0,7	В	в	5,2	6,6	2,1	1,7	6,5	1,4	-0,4	Вя	Вгж
21	19	Иванова	155,7	82,5	94,0	26,6	33,1	25,1	24,5	6,5	-0,6	Р	в	6,7	6,3	0,3	1,2	5,7	-0,4	0,9	Вл	Вж
22	20	Тищенко	164,5	85,0	96,0	27,7	35,3	22,2	25,7	7,6	3,5	Н	н	4,7	7,2	0,0	1,8	5,0	2,5	1,8	Вя	Вж
23	21	Веселовская	164,0	104,0	114,0	31,0	41,5	29,0	35,5	10,5	6,5	Н	н	4,0	8,5	-1,0	0,0	6,0	4,5	1,0	Вя	Вж

В данной таблице использованы формулы (1)…(4) для соответствующих столбцов:

Столб L =ЕСЛИ(G4-F4>7;"Н";(ЕСЛИ(G4-F4<5;"В";"Р"))); (1)

Столб M =ЕСЛИ(K4>2;"н";(ЕСЛИ(K4<0;"в";"р"))); (2)

Столб U =ЕСЛИ(O4> N4;"Вя";(ЕСЛИ(N4> O4;"Вл";0))); (3)

Столб V =ЕСЛИ(Q4> P4;"Вж";(ЕСЛИ(P4> Q4;"Вгж";0))). (4)

Хотя исследования проводились в системе AutoCAD, метод можно использовать в любой графической системе без разработки специализированных программ автоматического действия.

Осуществлен сравнительный анализ пропорционально-расчетного метода градации с градацией методом масштабирования [18].

Преимущества метода градации масштабированием:

1. Может быть проградирована любая по сложности конструкция.
2. Позволяет охватить практически неограниченное количество размеров и ростов конструкции любого исходного типа телосложения.

3. Не требует расчета приращений и задания точек градации.

4. Обеспечивает соразмерность и сопряженность срезов градируемых деталей, а также сохраняет нормы посадки исходной конструкции при градации деталей как по размерам, так и по ростам.

5. Сохраняет пропорции исходной конструкции при градации.

6. Возможна одновременная градация в одной ячейке таблицы нескольких МК с различным покроем рукава, созданных на одной БК с втачным рукавом.

Этапы процесса градации деталей одежды методом масштабирования

Шаблон для градации методом масштабирования представляет собой прямоугольный массив ячеек, в каждую из которых помещаются все детали градируемой конструкции. В верхней строке над массивом перечислены размеры изделия с 42 по 82 по полуобхвату груди третьему, а под ней строка размера с прибавкой по груди. По вертикали сбоку массива записан рост. Каждая ячейка массива имеет свой слой и свое имя, состоящее из двух цифр полуобхвата груди третьего и роста.

Конструкция исходного типа телосложения, который сохраняется во всех размерах градируемой модели, помещается в ячейку соответствующего размера и роста.

Процесс градации деталей одежды методом масштабирования состоит из трех этапов:

– масштабирование по размерам с изменением роста на гармоничной диагонали (от ячейки с исходной конструкцией);

– масштабирование по ростам в основных (контрольных) столбцах сетки градации (от концов гармоничной диагонали);

– масштабирование по размерам с изменением роста по производным диагоналям от ячеек с конструкциями новых пропорций (в основных столбцах).

Шаблон и схема последовательности градации представлены на рис. 2.

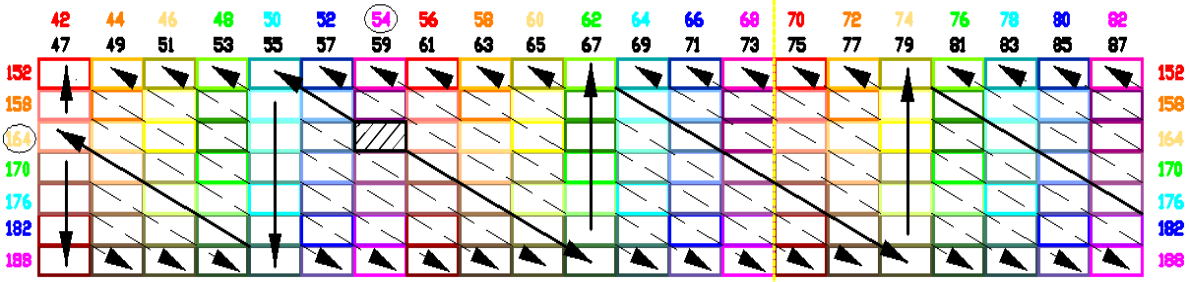


Рис. 2

Соответствие конструкции пропорциям эскиза модели обеспечивается при градации по размерам с изменением роста. Но для удовлетворения большего числа покупателей конструктор может изменять пропорции изделия в основных столбцах сетки градации по росту, руководствуясь законами зрительного восприятия, не нарушая при этом композиции костюма, создаваемого на фигуры с другими пропорциями.

Особенности математической модели градации масштабированием

В математической модели (ММ) метода разработана единая система расчета и анализа параметров конструкции, исследована изменчивость параметров конструкции, усовершенствованы приемы градации по росту, позволяющие сохранить гармонию пропорций исходной конструкции при вертикальной деформации и обеспечить в соответствии с ГОСТом сохранение величин размерных признаков, входящих составной частью в расчеты участков конструкции.

ММ метода градации масштабированием основана на электронной таблице Excel, в которой для каждого параметра, изменяющегося при вертикальной деформации в столбцах сетки градации, разработан расчетный лист. В табл. 2 приведен фрагмент расчета нормы посадки и величины посадки на каждом участке оката между надсечками на листе Окат по Нпос.

Таблица 2

Нормы посадки на 5-ти участках для рукава с проектной посадкой

X	Y	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
Норма пос средняя по кривой 2 порядка	Норма пос на 1в уч	Норма пос на 2в уч	Норма пос на 3 в уч	Норма пос на 4в уч	Посадка на 1в уч	Посадка на 2н уч	Посадка на 2в уч	Посадка на 3 в уч	Посадка на 4н уч	Общая посадка	Ширина рукава под проймой	Обхват плеча	Прибавка к обхвату плеча	Полуобхват груди 3 (Сг3) и рост (Р)
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,0987	0,4281	0,7008	1,0468	0,2257	2,50	34,40	29,40	5,00	46-164
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,0909	0,4141	0,6779	1,0384	0,2080	2,4293	32,00	27,00	5,00	42-158
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,0909	0,4187	0,6854	1,0555	0,2080	2,4584	31,80	26,80	5,00	42-164
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,0909	0,4233	0,6929	1,0743	0,2080	2,4893	31,60	26,60	5,00	42-170
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,0909	0,4405	0,7212	1,1392	0,2080	2,5998	31,40	26,40	5,00	42-176
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1064	0,4285	0,7014	1,0047	0,2434	2,4843	37,40	32,40	5,00	50-152
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1064	0,4349	0,7119	1,0245	0,2434	2,5211	37,20	32,20	5,00	50-158
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1064	0,4392	0,7190	1,0427	0,2434	2,5506	37,00	32,00	5,00	50-164
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1064	0,4429	0,7251	1,0550	0,2434	2,5728	36,80	31,80	5,00	50-170
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1219	0,4421	0,7237	1,0578	0,2788	2,6242	42,60	37,60	5,00	58-152
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1219	0,4474	0,7324	1,0746	0,2788	2,6551	42,40	37,40	5,00	58-158
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1219	0,4528	0,7413	1,0916	0,2788	2,6864	42,20	37,20	5,00	58-164
0,0732	0,0533	0,0872	0,0872	0,0533	0,1219	0,4583	0,7503	1,1077	0,2788	2,7169	42,00	37,00	5,00	58-170

низа | Окат по Нпос | Окат по К | Окат по пос | Окат по Шрук | Анализ формы оката

Изменение раствора нагрудной вытачки в методе градации масштабированием

Градация методом масштабирования очень гибко градирует раствор верхней вытачки, не нарушая конфигурацию проймы, сохраняет размерные признаки по ГОСТ, входящие составной частью в участки конструкции, и прибавки, поддерживающие пропорции участков конструкции относительно общей ширины базисной сетки как в базовой, так и в любой по сложности модельной конструкции.

Масштабирование по диагонали не может менять раствор вытачки в градусах, но при изменении роста на диагонали меняется раствор вытачки в сантиметрах – с увеличением роста увеличивается, а с уменьшением роста уменьшается.

Раствор вытачки в столбцах сетки градации в одном размере, но разных ростах изменяется в градусном измерении при сохранении раствора в сантиметрах. Так, при уменьшении роста внутренний конец нагрудной вытачки поднимаем вверх, при этом увеличивается градусное измерение, а на другом конце диагонали в столбце увеличивается рост и внутренний конец нагрудной вытачки опускаем вниз, тем самым уменьшаем градусное измерение при неизменном растворе вытачки в сантиметрах.

Раствор вытачки по горизонтали сетки градации в одном росте, но разных размерах изменяется как в градусах, так и в сантиметрах, то есть идентично традиционным методам градации.

Другие преимущества

При градации по ростам в столбцах сетки градации интересным представляется разработанная технология сохранения пропорций высоты оката рукава к его ширине под проймой относительно рукава исходного размероросто [19], а также решение проблемы совмещения рисунка в полоску и клетку на швах основных деталей [20].

Для ускоренного внедрения инновационных технологий в производство необходимо вырастить поколение конструкторов, свободно владеющих компьютерным инструментарием проектирования [21]; разработать приемы, ускоряющие процесс проектирования; создать различные библиотеки (ФБК, ВЗД – взаимозаменяемых деталей конструкций, унифицированных мелких деталей и др.).

ВЫВОДЫ

Показаны преимущества градации методом масштабирования, который определен как наиболее перспективный для дальнейшей разработки в автоматическом режиме и широкого внедрения в производство одежды в САПР.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЕМКО СЭВ. Градация деталей женской и мужской одежды. Т. 4. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1989. 232 с.

2. *Иевлева Р.В., Мартынова А.И., Зюзина О.А.* Градация лекал: учеб. пособие. М.: МГУДТ, 2006. 114 с.

3. *Ахмедулова Н.И., Гниденко А.В.* Основы процесса градации лекал: учеб. пособие. Иваново, 2010. 38 с.

4. *Кузьмичев В.Е., Жукова И.В., Сахарова Н.А.* Разработка конструктивно-антропометрического обеспечения процесса конструирования одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 143…148.

5. *Мокеева Н.С., Талгатбекова А.Ж., Абенова И.Р.* Проектирование конструкции женской одежды с использованием математической модели // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 113…116.

6. *Ким И.С., Кенжибаева Г.С., Арипбаева А.Е. и др.* Анализ особенностей внешней формы фигур потребителей и перспективы развития адресного автоматизированного проектирования одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 4(388). С. 106…110.

7. *Залялютдинова Г.Р., Хамматова В.В.* Информационные 3D-технологии в проектировании изделий текстильной и легкой промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 148…153.

8. *Сулейманова Е.А., Коваленко Ю.А., Тихонова Н.В.* Формализация технологии создания цифровой формы 3d модели одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 3(417). С. 211…222.

9. *Масалова В., Сивова М.* Обзор существующих методов градации в САПР // Announcements of Union of Scientists – Sliven. Каварна, 2013. Т. 24. С. 322…327.

10. Пат. 2264145 РФ. Градация конструкций одежды методом масштабирования.

11. *Шильдт Е.В.* Разработка метода градации пропорционированием при автоматизированном проектировании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУДТ, 2008. 30 с.

12. *Масалова В.А., Шильдт Е.В.* Градация методом масштабирования лекал швейных изделий // Швейная промышленность. 2005. № 5. С. 38…41.

13. *Масалова В.А., Шильдт Е.В., Шечкова Е.М., Широкова А.В.* Градация методом масштабирования – мечта конструктора // Швейная промышленность. 2006. № 5. С. 35…36.

14. Практикум по моделированию и конструированию одежды / под ред. В.Е. Кузьмичева. Иваново: ИВГПУ, 2014. 576 с.

15. *Копылов А.А., Петросова И.А., Андреева Е.Г.* Исследование величин межразмерных приращений в современной мужской одежде // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3(399). С. 192…197.

16. *Масалова В.А.* Процесс рождения инновационных технологий // Современные задачи инженерных наук. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. Т. 4. С. 907…910.

17. *Медведева Т.В., Булатова Е.Б., Коблякова Е.Б.* Конструирование женского платья на фигуры с различной осанкой. М.: Легпромбытиздат, 1993. 139 с.

18. *Масалова В., Сивова М.* Сравнительный анализ градации конструкций швейных изделий методом масштабирования с традиционной градацией. // София. Текстил и облекло. 2012. № 12. С. 296…302.

19. *Масалова В.А., Сивова М.В.* Разработка приемов формообразования оката рукава, сохраняющих его пропорции, при вертикальной деформации конструкции в процессе градации по ростам // Announcements of Union of Scientists – Sliven. Каварна, 2014. Т. 27. С. 176…181.

20. *Масалова В.А., Гетманцева В.В., Гусева М.А.* Комплексное решение проблемы совмещения рисунка в полоску и клетку на всех швах при проектировании одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 3(417). С. 205…210.

21. *Шереметьева Е.Н., Баринова Е.П.* Доминантные векторы развития текстильной промышленности: цифровые возможности и таланты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2(410). С. 32…37.

REFERENCES

1. EMKO SEV. Gradation of details of women's and men's clothing. Vol. 4. Moscow: TsNIITEIlegprom, 1989. 232 p.

2. *Ievleva R.V., Martynova A.I., Zyuzina O.A.* Gradation of patterns: textbook for students. Moscow: MGUDT, 2006. 114 p.

3. *Akhmedulova N.I., Gnidenko A.V.* Basics of the pattern grading process: textbook for students. Ivanovo, 2010. 38 p.

4. *Kuzmichev 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 Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2022, 6(402). P. 143…148.

5. *Mokeeva N.C., Talgatbekova A.Zh., Abenova I.R.* Designing the construction of women's clothing using a mathematical model // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh

Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2021, 3(393). P. 113…116.

6. *Kim I.S., Kenzhibayeva G.S, Aripbaeva A.E. etc.* Analysis of features of the foreign form of consumers figures and perspectives of development of addressed automated design of clothes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2020, 4(388). P. 106…110.

7. *Zalyalyutdinova G.R., Khammatova V.V.* 3D information technologies in the design of products of the textile and light industries // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2022. 6(402). C. 148…153.

8. *Suleymanova E.A., Kovalenko Y.A., Tikhonova N.V.* Technology formalization for creating a digital form of a 3d clothing model // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025. 3(417). C. 211…222.

9. *Masalova V., Sivova M.* Review of existing gradation methods in CAD // Announcements of Union of Scientists – Sliven. Kavarna, 2013. Vol. 24. P. 322…327.

10. Patent 2264145 of the Russian Federation. Gradation of clothing designs using the scaling method.

11. *Schildt E.V.* Development of a gradation method by proportioning in automated design: abstract of dis. ... PhD. Moscow: MGUDT, 2008. 30 p.

12. *Masalova V.A., Shildt E.V.* Gradation by scaling patterns of garments // Sewing industry. 2005. No. 5. P. 38…41.

13. *Masalova V.A., Shildt E.V., Shechkova E.M., Shirokova A.V.* Gradation by scaling method – a designer's dream // Sewing industry. 2006. No. 5. P. 35…36.

14. Workshop on modeling and designing clothing: a tutorial / edited by V.E. Kuzmichev. Ivanovo: IVGPU, 2014. 576 p.

15. *Kopylov A.A., Petrosova I.A., Andreeva E.G.* Research of the values of inter-dimensional increments in modern men's clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2022, 3(399). P. 192…197.

16. *Masalova V.A.* The process of birth of innovative technologies. // Modern problems of engineering sciences. Moscow, 2017. Vol. 4. P. 907…910.

17. *Medvedeva T.V., Bulatova E.B., Koblyakova E.B.* Designing women's dresses for figures with different postures. M.: Legprombytizdat, 1993. 139 p.

18. *Masalova V., Sivova M.* Comparative analysis of gradation of garment designs using the scaling method with traditional gradation // Sofia. Textiles and Clothing. 2012. No. 12. P. 296…302.

19. *Masalova V.A., Sivova M.V.* Development of methods for forming a sleeve cap that preserve its proportions during vertical deformation of the structure during gradation by heights // Announcements of Union of Scientists – Sliven. Kavarna, 2014. Vol. 27. P. 176…181.

20. *Masalova V.A., Getmantseva V.V., Guseva M.A.* A comprehensive solution to the problem of combining patterns in stripes and checks on all seams when designing clothes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025. 3(417). P. 205…210.

21. *Sheremetyeva E.N., Barinova E.P.* Dominant vectors of textile industry development: digital opportunities and talents // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2024. 2(410). P. 32…37.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 27.04.26.

УДК 658.512.4 : 687
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_244

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОМПЛЕКТОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПОТОКА ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО КРИТЕРИЮ СЛОЖНОСТИ РАБОТ

ASSESSING THE QUALITY OF PRODUCTION FLOW OPERATIONS IN A GARMENT PRODUCTION FLOW BASED ON WORK COMPLEXITY

А.М. РАХМАТУЛЛИН

A.M. RAKHMATULLIN

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

(Ufa State Petroleum Technological University)

Email: r-airat@mail.ru

Современные автоматизированные системы технологической подготовки швейного производства, например "Стилон", "Julivi", при разработке схемы разделения труда позволяют получить одно единственное решение организационной операции без возможности параллельного сравнения его с иными решениями. В альтернативу данному подходу предлагается сформировать множество допустимых решений организационной операции по количественному признаку норм времени на выполнение технологических операций из исходного набора для комплектования. В этой ситуации возникает проблема выбора и принятия оптимального решения организационной операции по комплексу критериев, оцениваемых по качественным признакам сочетаемых технологических операций. По критерию сложности работ традиционно применяют ранговую характеристику: одинаковые, смежные или разные по разрядам технологические операции в составе организационной операции. В настоящей статье предложено использовать количественный показатель потерь в стоимости обработки швейного изделия от сдельной расценки. Значимые различия по сложности работ устанавливают на основе технологической последовательности изготовления изделия. При определении и ранжировании интервалов значений следует исходить из минимальных потерь от сдельной расценки, рассчитываемых по возможным комбинациям разрядов сочетаемых технологических операций. При попарных сравнениях для альтернативы решений организационной операции определяют разницу в потерях от сдельной расценки, которую через шкалу интервалов ставят в соответствие значению фундаментальной шкалы. Комплексную оценку качества комплектования операций предложено проводить методом анализа иерархий по трем критериям: сложность работ, оснащение рабочей зоны с учетом специальности, связность технологических операций. Описанный алгоритм действий по оценке качества комплектования операций можно реализовать в автоматизированной системе технологической подготовки швейного производства.

Modern automated systems for the technological preparation of garment production—such as Stilon and Julivi—typically yield a single solution for an organizational operation when designing the division of labor, without allowing for a parallel comparison with other potential solutions. As an alternative to this approach, it is proposed to form a set of feasible solutions for a production operation based on the quantitative indicator of the time spent on performing technological operations

from the initial set for completing. In this situation, the problem arises of choosing and making the optimal decision for a production operation based on a set of criteria assessed by the qualitative characteristics of the combined technological operations. According to the criterion of the complexity of the work, a rank characteristic is traditionally used as identical, adjacent or different in terms of skill grade. In this article, it is proposed to use a quantitative indicator of losses in the cost of processing a garment from a piece rate. Significant differences in the complexity of the work are established based on the technological sequence of manufacturing the product. When determining and ranking the intervals of values, one should proceed from the minimum losses from the piece rate, calculated for possible combinations of job grades of combined technological operations. In pairwise comparisons for alternative solutions of an production operation, the difference in losses from the piece rate is determined, which is put into correspondence with the value of the fundamental scale through the interval scale. For a comprehensive assessment of the quality of completing operations, it is proposed to use the hierarchy analysis process according to three criteria: complexity of work, equipment of the work area taking into account the specialty and connectivity of technological operations. The described algorithm of actions for assessing the quality of completing operations can be implemented in a computer-aided process planning system of garment production.

Ключевые слова: швейное изделие, поточное производство, комплектование, технологическая операция, организационная операция, оценка качества, метод анализа иерархий, сложность работ, шкала.

Keywords: garment, in-line production, completing, technological operation, production operation, quality assessment, analytic hierarchy process, work complexity, scale.

Введение

Основным документом, описывающим функционирование потока по изготовлению модели швейного изделия, является схема разделения труда. На практике указанный документ разрабатывают на высоком организационно-техническом уровне, используя одноименный модуль автоматизированной системы технологической подготовки швейного производства, например "Стилон" (https://www.stylon.ru (2025)) и "Julivi" (http://julivi.com/ru/prods508.html (2025)). По своей сути комплектование операций в автоматизированной системе реализовано подобно процедурам, выполняемым традиционным способом.

Однако совершенствование любой из упомянутых систем для задач комплектования сдерживается из-за построения алгоритма, предназначенного для получения решений по организационным операциям, "узкой" направленности его функции цели. При разработке схемы разделения труда система позволяет пользователю в интерактивном режиме работы получить лишь одно единственное решение организационной операции. Остальные решения, среди которых может быть лучшее, остаются вне оперативного поля внимания технолога. В этих условиях нет возможности судить о качестве комплектования. Суждение выносят лишь субъективно, по соответствию характеристик организационных операций предъявляемым требованиям. Результатом применения такого подхода являются соответствующие технико-экономические показатели функционирования потока, часто не самые лучшие по принятой технологии изготовления швейного изделия.

В условиях возможности выбора решения каждой организационной операции потока из множества допустимых ее решений, сгенерированных специализированным программным обеспечением, возникает проблема разработки методики оценки качества комплектования по критериям оптимизации.

Литературный обзор

Распределение работ между исполнителями в потоке швейного производства осуществляют согласно схеме разделения труда. При этом квалификацию каждого исполнителя ставят в соответствие с наиболее сложными по выполнению технологическими операциями в составе поручаемой ему организационной операции.

По справочнику [1] перечни работ по изготовлению изделий непосредственно в потоке швейного производства соответствуют тарифно-квалификационным характеристикам первых шести разрядов профессий рабочих, принятых по восьмиразрядной тарифной сетке.

При наличии в составе работ, закрепленных за конкретным исполнителем, технологических операций меньших разрядов происходит неполное использование его квалификации. Влияние этого факта должно снижать мотивацию рабочего из-за потерь в сдельной заработной плате.

Согласно законодательно установленным правовым взаимоотношениям работодатель обязан возместить межразрядную разницу в ситуациях, когда сотрудник выполняет работу, тарифицируемую ниже присвоенного ему разряда (https://ivo.garant.ru/#/document/12125268/paragraph/1313:0 (2025)). Вследствие возмещения таких несоответствий повышается стоимость обработки единицы изделия, что негативным образом отражается на эффективности его производства.

В связи этим при разработке схемы разделения труда к составу организационной операции выдвигают требование на совместимость технологических операций по разрядам. Технологические операции одинаковых разрядов рассматривают в приоритете для комплектования; менее предпочтительными являются сочетания технологических операций смежных разрядов; в крайних случаях рассматривают сочетания по несмежным разрядам [2]. Затем осуществляют закрепление организационных операций за исполнителями соответствующих квалификаций и профессий.

В диссертации Яковлевой С.В. [3] требование на совместимость технологических операций по разрядам в составе организационной операции было формализовано математически условием

$$\max\left|r_i - r_j\right| \le \Delta r \quad \text{для} \quad i,j \in \overline{1,m}, \quad m = |M|, \tag{1}$$

где r – разряд работы по технологической операции; i,j – индексы, указывающие на порядковые номера технологических операций в составе организационной операции; m – мощность организационной операции, представленной подмножеством M технологических операций.

Для реализации алгоритма комплектования операций посредством программного продукта автор работы [3] предложила ограничить разницу в разрядах технологических операций в составе организационной операции величиной не более двух единиц, то есть $\Delta r = 2$. При этом по алгоритму программного обеспечения не предусмотрена возможность получения иных решений по комплектуемым организационным операциям, что исключает гибкость в принятии проектного решения потока.

Ученые МГУДТ Серова Т.М., Афанасьева А.И., Илларионова Т.И., Делль Р.А. в книге [4] исходят из того, что компоновка в организационную операцию технологических операций одинаковых или смежных разрядов обеспечивает квалификационную однородность выполняемых работ. Комплектование технологических операций несмежных разрядов допустимо по следующему условию: основная заработная плата исполнителя за смену, рассчитанная по сдельной расценке, составляет величину не меньше, чем по квалификации на один разряд ниже.

Таким образом, при оценке качества комплектования по критерию сложности работ рассматривают дискретные значения разрядов сочетаемых технологических операций. Компоновку технологических операций в составе организационной операции оценивают вербальной характеристикой рангового типа: одинаковые, смежные или разные по разрядам. При этом разные авторы предлагают несколько отличные толкования для градуировки значимости реше-

ний по проблеме совместимости технологических операций по разрядам работ.

Комплексную оценку качества комплектования для принятия оптимального решения организационной операции предлагается выполнять методом анализа иерархий [5] на основе измерений, полученных посредством фундаментальной шкалы, по критериям: сложность работ, оснащение рабочей зоны с учетом специальности, связности технологических операций в структуре организационной операции [6, 7]. Решение поставленной задачи, в частности по локальному критерию "сложность работ", преследует цель минимизации потерь в стоимости обработки швейного изделия, что отвечает реализации концепции бережливого производства [8, 9].

Область допустимых решений организационной операции

Для выбора оптимального решения организационной операции из области допустимых ее решений следует сопоставить друг с другом варианты сочетаний технологических операций.

Допустимость возможных решений организационной операции определяют по количественным показателям: согласованности затраты времени с тактом потока, а также соответствию требованию минимизации кратности исполнения. При формировании данной области от прочих требований к совместимости технологических операций в составе организационной операции пока следует абстрагироваться.

В процедурах комплектования трудозатраты на выполнение каждой организационной операции согласовывают с тактом для обеспечения ритма работы потока. Допустимые сегменты для времени выполнения организационной операции в зависимости от кратности ее исполнения описаны обобщенной формулой

$$\varepsilon_{\text{н}}\, \tau \mathfrak{K} \le \mathfrak{T}_i \le \varepsilon_{\text{в}}\, \tau \mathfrak{K}\,, \qquad (2)$$

где $\mathfrak{T}_i$ – затрата времени по организационной операции i-го порядкового номера в схеме разделения труда, с; τ – такт выпуска изделий из потока, с; $\varepsilon_{\text{н}}$, $\varepsilon_{\text{в}}$ – коэффициенты удаленности нижней и верхней границ допустимого сегмента времени относительно значения такта, например, для нерегламентированного (свободного) ритма работы принимают $\varepsilon_{\text{н}} = 0{,}90$ и $\varepsilon_{\text{в}} = 1{,}10$; $\mathfrak{K}$ – кратность исполнения организационной операции, выражаемая количеством исполнителей.

Под тактом понимают интервал времени, через который выпускают из потока одно изделие. Значение такта вычисляют по одной из двух взаимоувязанных формул

$$\tau = T/N = S/M, \qquad (3)$$

где T – трудоемкость изготовления изделия, с; N – число исполнителей в потоке; S – продолжительность смены, с; M – сменный выпуск изделий.

Организационную операцию начинают комплектовать, используя тривиальный способ компоновки ее структуры [10]. Перебором технологических операций из исходного набора для комплектования задают отличные друг от друга начальные варианты по решениям организационной операции, причем пока тривиальной структуры.

Затем в каждом варианте по необходимости добирают суммарные трудозатраты организационной операции в допустимом сегменте времени, вплоть до максимально возможной величины:

$$\begin{gathered} \max(\mathfrak{T}_i)\,|_{\mathfrak{K}} \to \mathfrak{K}\varepsilon_{\text{в}}\,\tau, \\ \text{причем } \mathfrak{K} \to \min, \end{gathered} \qquad (4)$$

где за разделителем "|" указано значение кратности исполнения по решению организационной операции, принятое в расчете. Тем самым комбинаторно, сочетаниями без повторений, получают множество допустимых решений организационной операции.

Алгоритм поиска области допустимых решений организационной операции, реализованный комбинаторным методом в сочетании с методом отсечений, изложен в статье [11], а возможность обработки данных с помощью компьютера подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ [12].

Далее в каждом сочетании технологические операции следует расставить по разрядам в невозрастающем порядке. Тогда разряд технологической операции, принятой за начальную в их упорядоченном сочетании, являясь максимальным значением, определяет требуемую квалификацию исполнителя.

Показатель потерь от сдельной расценки как характеристика решения организационной операции

Сравнением решений организационной операции по разнице в разрядах сочетаемых технологических операций не всегда можно получить достоверные сведения для обоснованного выбора проектного решения. Редко, но все же возникают ситуации, когда сочетание из технологических операций смежных разрядов $\left(\max\left|r_i - r_j\right| = 1\right)$ оказывается менее выгодным по сравнению с сочетанием из технологических операций разных разрядов $\left(\max\left|r_i - r_j\right| \geq 2\right)$ в аспекте размера оплаты труда.

Основную заработную плату по сдельной системе начисляют работнику в зависимости от количества изделий, выпущенных из потока, по расценкам выполняемой им работы (https://ivo.garant.ru/#/document/12125268/paragraph/1313:0 (2025)). При разработке схемы разделения труда в потоке сдельную расценку по организационной операции рассчитывают по формуле

$$P = C_1/3600 \sum_{r \in R}\left(K_r \sum_{i_r=1}^{n_r} t_{i_r}\right), \quad (5)$$

где P – сдельная расценка по организационной операции, р.; C_1 – часовая тарифная ставка 1-го разряда, принятая на предприятии, р./ч; $1/3600$ – коэффициент перевода часовой тарифной ставки в секундную; r – разряд, характеризующий сложность выполнения работы по технологической операции; R – подмножество разрядов, характеризующих сложности исполнения скомплектованных технологических операций, во вполне упорядоченном множестве элементов, $R \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$; K_r – тарифный коэффициент, установленный на предприятии для работ r–го разряда, причем $K_1 = 1{,}00$ и $K_1 < K_2 < \cdots < K_6$; n_r – количество технологических операций разряда r в составе организационной операции; i_r – индекс, показывающий порядковый номер элемента в подмножестве скомплектованных технологических операций, квалифицируемых по r-му разряду, $i_r \in \{1, 2, \ldots, n_r\}$; t_{i_r} – норма времени на выполнение i-й по порядковому номеру технологической операции r-го разряда, с.

Для оценки качества решений организационной операции по критерию "сложность работ" объективным является показатель потерь в стоимости обработки изделия от величины сдельной расценки. По организационной операции потери возникают из-за отклонения расчетной величины сдельной расценки от номинального ее значения, соответствующего квалификации исполнителя при тех же трудозатратах, причем отклонения в меньшую сторону.

Количественное выражение предложенного показателя имеет явное преимущество для сравнительного анализа в отличие от традиционно применяемой ранговой оценки: одинаковые, смежные или разные по разрядам работ. По значениям потерь в стоимости обработки изделия от сдельной расценки, полученным по измерениям шкалы отношений, можно перейти к измерениям по фундаментальной шкале метода анализа иерархий. Последняя применима при попарных сравнениях вариантов решений организационной операции, формируемой при разработке схемы разделения труда в потоке швейного производства по комплексу критериев, принятых для оценки качества комплектования.

Следует отметить, что при парных сравнениях альтернатив решений организационной операции, различаемых по кратности исполнения, величины потерь от сдельной расценки становятся несопоставимыми из-за существенного несоответствия трудозатрат.

Исходя из определения такта потока, потери от сдельной расценки по решениям организационной операции требуется нормализовать в отношении к кратности исполнения. Указанное действие необходимо выполнить для последующего сравнительного анализа.

Потери от сдельной расценки по j-му сочетанию технологических операций в составе организационной операции, нормализованные в отношении к кратности ее исполнения, обозначены как $\Delta\widetilde{P}_j$. Тогда

$$\Delta\widetilde{P}_j = \frac{C_1}{3600} \cdot \frac{\sum_{r \in R_j} \left[\left(K_{\max R_j} - K_r \right) \cdot t_{i_r} \right]}{\mathfrak{K}_j} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \begin{cases} \left|R_j\right| = 1 \rightarrow \Delta\widetilde{P}_j = 0, \\ \left|R_j\right| \in \{2,3,4,5,6\} \rightarrow \Delta\widetilde{P}_j > 0, \end{cases} \quad (6)$$

где R_j – подмножество разрядов технологических операций, скомпонованных в j-м варианте их сочетания; $\max R_j$ – максимальное значение разряда в подмножестве R_j; $\mathfrak{K}_j$ – кратность исполнения по j-му варианту решения организационной операции.

В одних ситуациях, когда решение организационной операции состоит из одной технологической операции или из нескольких технологических операций одинакового разряда, работа выполняется без потерь от сдельной расценки. Здесь подмножество разрядов в сочетании состоит из одного элемента, образуя синглетон [13], $\left|R_j\right| = 1$.

В других ситуациях, реализуемых с доукомплектованием организационной операции технологическими операциями меньших разрядов, возникают потери от сдельной расценки на единице изделия, выпускаемого из потока. Здесь мощность подмножества разрядов сочетаемых технологических операций $\left|R_j\right| \in \{2,3,4,5,6\}$.

Необходимо отметить, что в производственных условиях величины потерь в стоимости обработки изделия от сдельной расценки специально не рассчитывают по схеме разделения труда, а следовательно, никак не фиксируют в этом документе.

Расчеты потерь от сдельной расценки и сравнительную оценку решений возможно реализовать в автоматизированной системе технологической подготовки швейного производства, в процедурах выбора и принятия технологом оптимального решения каждой организационной операции для схемы разделения труда в потоке, по фактору "сложность работ" в частности.

Измерения сложности работ по решениям организационной операции

Значения, рассчитанные по формулам (5) и (6), по сути являются количественными проявлениями свойства объектов – сдельной расценки по решениям организационной операции и измеряемы по шкале отношений. Для таких величин применимы отношения эквивалентности, порядка и алгебраического суммирования. В шкале отношений существует естественное нулевое значение показателя свойства [17].

Означенная шкала применима для попарных сравнений вариантов решений организационной операции по фактору "сложность работ". Чем больше нормализованная величина потерь от сдельной расценки, тем хуже решение организационной операции в области допустимых ее решений.

Число вариантов решений организационной операции, формируемой комбинаторным образом, весьма велико. Однако несложно установить следующую закономерность. Значимые различия между решениями организационной операции выявляют исходя из комбинаций разрядов в сочетаниях технологических операций. Для сложности работ, характеризуемой конкретной комбинацией разрядов, потери от сдельной расценки начинают возрастать по решениям от значения, когда в расчете по формуле (6) по одной или нескольким технологическим операциям меньших разрядов использованы минимальные нормы времени во всей последовательности по процессу изготовления изделия.

Последующие рассуждения пояснены расчетами на примере данных из технологической последовательности изготовления модели женского платья из шерстяной ткани. Схему разделения труда составляют для потока с нерегламентированным ритмом работы мощностью $N = 13$ человек. При трудоемкости изготовления изделия $T = 2734$ с значение такта потока составит $\tau = T/N = 2734/13 \approx 210$ с.

Во всей последовательности изготовления изделия только одна из 60 технологических операций, причем квалифицируемая

4-м разрядом, имеет норму времени ($t_{56} = 299$ с) больше, чем верхняя граница допустимого сегмента времени для некратной организационной операции ($\varepsilon_в \cdot \tau = 1{,}1 \cdot 210 = 231$ с). Если нормы времени на выполнение технологической операции удовлетворяют условию $\varepsilon_в \cdot \tau < t_i \le 2 \cdot \varepsilon_в \cdot \tau$, то ее комплектуют в двукратную организационную операцию ($\text{Я} = 2$). Соответственно по сочетаниям, в которых хотя бы у одной технологической операции сложность квалифицирована 4-м разрядом, минимальную величину потерь от сдельной расценки получат из ряда значений, нормализованных в отношении к кратности, равной двум.

Пусть к исходному сочетанию, состоящему из одного элемента или нескольких элементов одинакового 4-го разряда ($r = 4$), добавляют две технологические операции 3 и 1-го разрядов соответственно ($r - 1 = 3$ и $r - 3 = 1$), причем минимальные по трудозатратам ($t_{1_3} = 9$ с и $t_{1_1} = 20$ с) во всей последовательности изготовления модели изделия. Данную сложность работ отображает подмножество разрядов $R = \{4, 3, 1\}$. На предприятии по указанным разрядам работ установлены тарифные коэффициенты: $K_4 = 1{,}74$, $K_3 = 1{,}55$ и $K_1 = 1{,}00$; часовая тарифная ставка равна 150,00 р. Тогда значение, с которого начинают возрастать потери от сдельной расценки в решениях организационной операции с отмеченной сложностью работ, составит

$$\Delta\widetilde{P}_j = \frac{C_1\left[(K_4 - K_3)t_{1_3} + (K_4 - K_1)t_{1_1}\right]}{3600 \cdot \text{Я}_j} = \frac{150{,}00}{3600} \times \times \frac{[(1{,}74 - 1{,}55) \cdot 9 + (1{,}74 - 1{,}00) \cdot 20]}{2} = 0{,}344 \text{ р.}$$

Минимальные значения потерь от сдельной расценки, полученные по комбинациям разрядов, являются реперными точками для перевода количественных измерений, полученных по шкале отношений, сначала в шкалу интервалов, а затем в измерения по фундаментальной шкале. Для определения положения реперных точек на шкале отношений достаточно рассмотреть сочетания технологических операций, различаемых по сложности работ комбинациями до трех значений разрядов (табл. 1). Число таких комбинаций из шести значений разрядов работ равно

$$C_6^1 + C_6^2 + C_6^3 = \frac{6!}{1! \cdot 5!} + \frac{6!}{2! \cdot 4!} + \frac{6!}{3! \cdot 3!} = 41.$$

Таблица 1

Сложность работ исходного сочетания технологических операций		Минимальная норма времени технологической операции, с	Разность тарифных коэффициентов при разряде технологической операции, добавляемой к исходному сочетанию,						Минимальные потери от сдельной расценки, руб., в результате добавления к исходному сочетанию одной технологической операции разряда					
Разряд r	Тарифный коэффициент K_r		r	$r-1$	$r-2$	$r-3$	$r-4$	$r-5$	r	$r-1$	$r-2$	$r-3$	$r-4$	$r-5$
1-й	1,00	20	0,00	×	×	×	×	×	–	×	×	×	×	×
2-й	1,30	5	0,00	0,30	×	×	×	×	0,000	0,250	×	×	×	×
3-й	1,55	9	0,00	0,25	0,55	×	×	×	0,000	0,052	0,458	×	×	×
4-й	1,74	60	0,00	0,19	0,44	0,74	×	×	0,000	0,036	0,046	0,308	×	×
5-й	1,90	45	0,00	0,16	0,35	0,60	0,90	×	0,000	0,200	0,131	0,125	0,750	×
6-й	2,20	–	0,00	0,30	0,46	0,65	0,90	1,20	–	–	–	–	–	–
Минимальное значение			–	–	–	–	–	–	0,000	0,036	0,046	0,125	0,750	–

Окончание табл. 1

Сложность работ исходного сочетания технологических операций		Минимальная норма времени технологической операции, с	Минимальные потери от сдельной расценки, руб., в результате добавления к исходному сочетанию двух технологических операций разрядов										Наибольшая кратность K
Разряд r	Тарифный коэффициент K_r		$(r-1)$ и $(r-2)$	$(r-1)$ и $(r-3)$	$(r-1)$ и $(r-4)$	$(r-1)$ и $(r-5)$	$(r-2)$ и $(r-3)$	$(r-2)$ и $(r-4)$	$(r-2)$ и $(r-5)$	$(r-3)$ и $(r-4)$	$(r-3)$ и $(r-5)$	$(r-4)$ и $(r-5)$	
1-й	1,00	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1
2-й	1,30	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1
3-й	1,55	9	0,510	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1
4-й	1,74	60	0,081	0,344	×	×	0,354	×	×	×	×	×	2
5-й	1,90	45	0,266	0,263	0,575	×	0,256	0,881	×	0,875	×	×	1
6-й	2,20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Минимальное значение			0,081	0,263	0,575	–	0,256	0,881	–	0,875	–	–	–

В последовательности по изготовлению модели женского платья:
- есть только одна технологическая операция 1-го разряда;
- отсутствуют технологические операции 6-го разряда.

Невозможная комбинация разрядов технологических операций обозначена символом «×» и серым цветом фона ячейки.

Значения минимальных потерь от сдельной расценки, нормализованные к кратности,равной двум, обозначены коричневым цветом шрифта.

По результатам расчетов получают ряд минимальных значений потерь от сдельной расценки по решениям организационной операции, различаемых по разнице в комбинации разрядов сочетаемых технологических операций. Ряд значений, выраженных в рублях, представлен в виде множества чисел, расположенных в неубывающем порядке: {0,000; 0,036; 0,046; 0,081; 0,125; 0,256; 0,263; 0,575; 0,750; 0,875; 0,881}. Отобрав первые девять различаемых значений из упорядоченного множества, получают реперные точки на шкале отношений в виде подмножества числовых значений {0,000; 0,036; 0,046; 0,081; 0,125; 0,256; 0,263; 0,575; 0,750}, выражаемых в стоимостных единицах для последующей оценки потерь от сдельной расценки по измерениям в значениях фундаментальной шкалы. Последнюю применяют в процедурах парных сравнений (табл. 2).

Таблица 2

Шкала отношений	Шкала интервалов	Фундаментальная шкала	
Реперная точка, руб.	Интервал потерь от сдельной расценки, руб., для сопоставления по альтернативам	Степень предпочтения	Определение
0,000	[0,000; 0,036)	1	Эквивалентное соотношение
0,036	[0,036; 0,046)	2	Слабая степень предпочтения
0,046	[0,046; 0,081)	3	Средняя степень предпочтения
0,081	[0,081; 0,125)	4	Предпочтение выше среднего
0,125	[0,125; 0,256)	5	Умеренно сильное предпочтение
0,256	[0,256; 0,263)	6	Сильное предпочтение
0,263	[0,263; 0,575)	7	Очень сильное предпочтение
0,575	[0,575; 0,750)	8	Весьма сильное предпочтение
0,750	[0,750; x]	9	Абсолютное предпочтение
x – некое максимальное значение потерь от сдельной расценки, т. к. число комбинаций технологических операций из последовательности изготовления изделия конечно.			

Если предпочтительности p-й альтернативы по сравнению с q-й альтернативой, ω_p/ω_q, задают одно из значений, приведенных по фундаментальной шкале (см. табл. 2), то оценка предпочтительности q-й альтернативы перед p-й будет иметь обратное значение ω_q/ω_p.

По исходному набору, состоящему из семи технологических операций окончательной отделки и влажно-тепловой обработки женского платья, посредством специализированного программного продукта [12] сгенерировано 34 сочетания, образующие область допустимых решений формируемой организационной операции. Сочетания включают в себя от двух до шести элементов – технологических операций исходного набора.

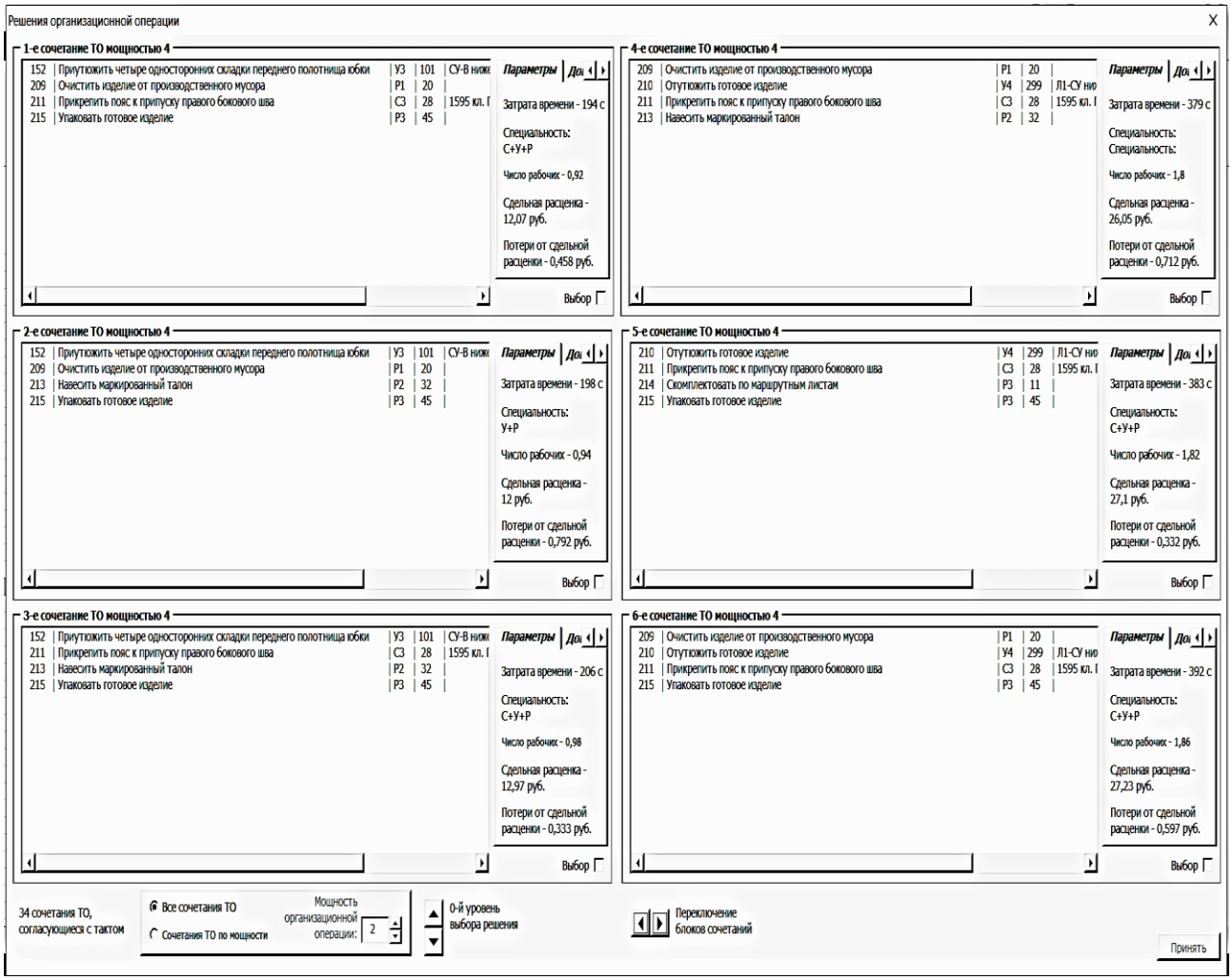


Рис. 1

Программа разбивает эти решения по блокам до шести сочетаний, представляя их в виде списков технологических операций. Данное разбиение соответствует "магическому числу семь плюс-минус два" [15]. Такое представление на интерфейсе осуществляется для удобства восприятия и анализа информации пользователем, а также для симметричного расположения списков на мониторе компьютера. В первые пять блоков включено по шесть сочетаний, а в последний, шестой, – оставшиеся четыре сочетания технологических операций $(34 = 5 \cdot 6 + 1 \cdot 4)$.

Для примера приведены расчеты, выполненные по сочетаниям технологических операций из 2-го блока разбиения всех допустимых решений формируемой органи-

зационной операции (рис. 1 – интерфейс пользователя).

Пусть p-е решение организационной операции имеет значение потерь от сдельной расценки $\Delta\widetilde{P}_p$, а q-е решение – значение $\Delta\widetilde{P}_q$ как результаты измерений посредством шкалы отношений, причем $\Delta\widetilde{P}_p < \Delta\widetilde{P}_q$. При парном сравнении альтернатив по разнице потерь от сдельной расценки между ними $\Delta\widetilde{P}_q - \Delta\widetilde{P}_p \geq 0$ устанавливают принадлежность этой величины к определенному интервалу согласно данным табл. 2. Затем по фундаментальной шкале дают соответствующую оценку ω_p/ω_q предпочтительности p-го решения относительно q-го решения. Соответственно, оценка предпочтительности q-го решения по отношению к p-му решению принимает обратное значение ω_q/ω_p, т. к. здесь $\Delta\widetilde{P}_p - \Delta\widetilde{P}_q \leq 0$.

Величины разницы в потерях от сдельной расценки для сравниваемых альтернатив решений организационной операции по 2-му блоку разбиения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Решения организационной операции	Потери от сдельной расценки, руб.	Разница в потерях от сдельной расценки, руб.					
		1-е сочетание из 4-х ТО	2-е сочетание из 4-х ТО	3-е сочетание из 4-х ТО	4-е сочетание из 4-х ТО	5-е сочетание из 4-х ТО	6-е сочетание из 4-х ТО
1-е сочетание из 4-х ТО	0,458	0,000	0,334	-0,125	0,254	-0,126	0,139
2-е сочетание из 4-х ТО	0,792	-0,334	0,000	-0,459	-0,080	-0,460	-0,195
3-е сочетание из 4-х ТО	0,333	0,125	0,459	0,000	0,379	-0,001	0,264
4-е сочетание из 4-х ТО	0,712	-0,254	0,080	-0,379	0,000	-0,380	-0,115
5-е сочетание из 4-х ТО	0,332	0,126	0,460	0,001	0,380	0,000	0,265
6-е сочетание из 4-х ТО	0,597	-0,139	0,195	-0,264	0,115	-0,265	0,000
Обозначение: ТО – технологическая операция							

По полученным значениям с использованием данных табл. 2 составлена матрица приоритетов решений организационной операции (табл. 4).

Таблица 4

Решения организационной операции	Матрица парных сравнений						Компоненты w_i собственного вектора	Компоненты $\tilde{w}_i$ нормализованного вектора приоритетов
	1-е сочетание из 4-х ТО	2-е сочетание из 4-х ТО	3-е сочетание из 4-х ТО	4-е сочетание из 4-х ТО	5-е сочетание из 4-х ТО	6-е сочетание из 4-х ТО		
1-е сочетание из 4-х ТО	1	7	1/5	5	1/5	5	1,383	0,144
2-е сочетание из 4-х ТО	1/7	1	1/7	1/3	1/7	1/5	0,241	0,025
3-е сочетание из 4-х ТО	5	7	1	7	1	7	3,460	0,361
4-е сочетание из 4-х ТО	1/5	3	1/7	1	1/7	1/4	0,381	0,040
5-е сочетание из 4-х ТО	5	7	1	7	1	7	3,460	0,361
6-е сочетание из 4-х ТО	1/5	5	1/7	4	1/7	1	0,659	0,069
Сумма	11,543	30,000	2,629	24,333	2,629	20,450	9,583	1,000

Каждую компоненту собственного вектора вычисляют по соответствующей строке матрицы как среднюю геометрическую величину из оценок предпочтительности по формуле

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} m_{ij}}, \qquad (7)$$

где $m_{ij} = \omega_i/\omega_j$ – значение измерения по фундаментальной шкале при парном сравнении; i, j – номера соответственно строки и столбца матрицы; n – число элементов матрицы, в данном примере $n = 6$.

Так, по 1-му сочетанию из четырех технологических операций компонента собственного вектора составит

$$w_1 = \sqrt[6]{\prod_{j=1}^{6} m_{1j}} = \sqrt[6]{1 \cdot 7 \cdot \frac{1}{5} \cdot 5 \cdot \frac{1}{5} \cdot 5} \approx 1{,}383.$$

Затем построчно осуществляют нормализацию компонент вектора приоритетов решений отношением к их суммарному значению:

$$\widetilde{w}_i = w_i / \sum_{i=1}^{n} w_i\,, \qquad (8)$$

В частности, для 1-го сочетания технологических операций

$$\widetilde{w}_1 = w_1 / \sum_{i=1}^{6} w_i = 1{,}383/9{,}583 \approx 0{,}144.$$

Далее следует выяснить, является ли уровень согласованности матрицы допустимым. Изначально вычисляют максимальное собственное число матрицы:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^{n} \left(s_j \widetilde{w}_i\right) \quad \text{при} \quad i = j, \qquad (9)$$

где s_j – сумма значений по j-му столбцу матрицы.

$$\lambda_{\max} = s_1\widetilde{w}_1 + s_2\widetilde{w}_2 + s_3\widetilde{w}_3 + s_4\widetilde{w}_4 + \\ + s_5\widetilde{w}_5 + s_6\widetilde{w}_6 = 11{,}543 \cdot 0{,}144 + \\ + 30{,}000 \cdot 0{,}025 + 2{,}629 \cdot 0{,}361 + \\ + 24{,}333 \cdot 0{,}040 + 2{,}629 \cdot 0{,}361 + \\ + 20{,}450 \cdot 0{,}069 \approx 6{,}691.$$

Матрицу считают абсолютно согласованной тогда и только тогда, когда $\lambda_{\max} = n$. При $\lambda_{\max} > n$ имеются отклонения от идеальной согласованности [5]. В данном примере $\lambda_{\max} = 6{,}691$, что больше $n = 6$.

Индекс согласованности матрицы парных сравнений как дисперсию ошибки, возникающей из-за неточности оценок элементов матрицы, находят по формуле

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)\,. \qquad (10)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1) = \\ = (6{,}691 - 6)/(6-1) \approx 0{,}138.$$

Уровень согласованности матрицы оценивают по отношению

$$CR = CI/RI\,. \qquad (11)$$

Стохастический коэффициент согласованности RI, указанный в знаменателе формулы (11), определяют эмпирически как среднее значение индекса согласованности CI для большой выборки матриц парных сравнений, генерированных случайным образом [16]. Для стохастического коэффициента согласованности справедлива зависимость

$$RI = 1{,}98 \cdot (n-2)/n\,. \qquad (12)$$

При $RI = 1{,}32$, когда $n = 6$, отношение согласованности составит $CR = 0{,}105$.

В данном примере вектор приоритетов, вычисленный из матрицы парных сравнений, является приемлемым, что подтверждено согласованностью оценок уровнем выше среднего ($CR = 10{,}5\ \%$).

Результаты и обсуждения

Значения компонент нормализованного вектора по сути являются весовыми коэффициентами, которые показывают приоритетность решений организационной операции. Чем ближе значение весового коэффициента к единице, тем лучше решение. В данном примере наиболее значимыми по критерию "сложность работ" являются 3 и 5-е сочетания с равным весовым коэффициентом 0,361. Отличие в потерях от сдельной расценки по этим решениям хотя и имеется (0,333 и 0,332 р. соответственно), но оно весьма несущественно.

Отношения согласованности, вычисленные по всем шести блокам разбиения 34 допустимых решений организационной операции, образуют вариационный ряд: 6,2; 10,5; 3,3; 13,5; 11,0; 4,8 %. Полученные значения свидетельствуют о достаточно высокой согласованности данных, используемых при их сравнительном анализе. При величине CR не больше 10 % согласованность

считают высокой; от 10 до 15 % включительно – выше средней; от 15 до 20 % включительно – средней [17].

Для комплексной оценки качества допустимых решений организационной операции необходимо синтезировать их глобальные приоритеты по трем критериям: сложность работ, оснащение рабочей зоны с учетом специальности, связности технологических операций. При этом между перечисленными критериями должно быть заранее установлено отношение приоритета.

Для успешного решения поставленной задачи методом анализа иерархий по каждому из двух последних критериев следует также установить величины, соответствующие значениям измерений на фундаментальной шкале согласно их определениям.

Далее алгоритм поиска оптимального решения организационной операции реализуют путем отбора, осуществляемым последовательно по иерархической схеме. В каждом блоке выбирают лучшее решение по наибольшему значению обобщенного весового коэффициента, что фиксируют посредством флажка "Выбор". Этот элемент управления расположен на интерфейсе программы под каждым допустимым решением, представленным соответствующим списком технологических операций (см. рис. 1). Лучшее решение в блоке отправляют на следующий уровень иерархии. На последнем уровне иерархии выбора будет получено оптимальное решение организационной операции, которое и следует включить в схему разделения труда в потоке.

ВЫВОДЫ

Для оценки качества решений организационной операции по критерию "сложность работ", осуществляемой при разработке схемы разделения труда в потоке швейного производства, впервые предложен показатель потерь в стоимости обработки изделия от сдельной расценки.

В основу оценки качества комплектования положено, что значимые различия в сложности выполняемых работ проявляются в зависимости от комбинаций разрядов технологических операций, сочетаемых в допустимых решениях организационной операции. При попарных сравнениях определяют разницу в потерях от сдельной расценки по каждой альтернативе решений, что ставят в соответствие показаниям фундаментальной шкалы.

Комплексную оценку качества комплектования операций предложено осуществлять методом анализа иерархий уже́ по трем критериям: сложность работ, оснащение рабочей зоны с учетом специальности, связности технологических операций.
Описанный алгоритм действий для комплексной оценки качества комплектования операций реализуем в автоматизированной системе технологической подготовки швейного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Вып. 46. Раздел "Швейное производство". М., 2002.
2. *Мурыгин В.Е.* Разработка основ проектирования технологических процессов швейных предприятий: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1990.
3. *Яковлева С.В.* Разработка методики автоматизированного проектирования технологической схемы изготовления швейных изделий в условиях действующего производства: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1991.
4. *Серова Т.М., Афанасьева А.И., Илларионова Т.И., Делль Р.А.* Современные формы и методы проектирования швейного производства. М.: МГУДТ, 2004.
5. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.
6. *Rakhmatullin A.M.* Methods for Solving the Problem of Completing Operations in Computer Aided Design of In-Line Garment Production // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3 (411). С. 170...179.
7. *Метелева О.В., Румянцев Е.В., Бузник В.М.* Проектирование комбинированных технологий швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5 (407). С. 147...154.
8. *Вумек Дж.П., Джонс Д.Т.* Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер, 2013.
9. *Воронова Е.Ю., Векшина А.А.* Синергетический подход применения методологии бережливого производства в минимизации непроизводственных затрат // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 22...32.

10. *Rakhmatullin A.M., Budeeva O.N.* The development of a manufacturing flow model of garments by graphs transformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, 753. P. 1…11.

11. *Рахматуллин А.М.* Алгоритм поиска сочетаний технологических операций, согласующихся с тактом швейного потока // Дизайн и технологии. 2016. № 51 (93). С. 38...55.

12. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ 2014663037 Российская Федерация. Комплектование операций швейного потока.

13. *Каазик Ю.А.* Математический словарь. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

14. *Димов Ю.В.* Метрология, стандартизация и сертификация. СПб.: Питер, 2010.

15. *Miller G.A.* The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. 1956, 101 (2). P. 343…352.

16. *Таха Х.А.* Введение в исследование операций. М.: Издательский дом "Вильямс", 2005.

17. *Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Демократова Е.Б.* Квалиметрия и управление качеством текстильных материалов. Ч. 1. М.: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2017.

R E F E R E N C E S

1. Unified tariff and qualification directory of workers' jobs and professions. Issue 46. The "Garment production" section. Moscow, 2002.

2. *Murygin V.E.* Development of basics for designing of technological processes at tailoring enterprises. Dissertation for the degree of grand PhD of technical sciences. Moscow, 1990.

3. *Yakovleva S.V.* Development of a methodology for computer-aided design of a technological scheme for the manufacture of garments in existing production conditions. Dissertation for the degree of PhD of technical sciences. Novosibirsk, 1991.

4. *Serova T.M., Afanas'eva A.I., Illarionova T.I., Dell' R.A.* Modern forms and methods of garment manufacture designing. Moscow: Moscow State University of Design and Technology, 2004.

5. *Saaty T.L.* Decision making with dependence and feedback. The analytic network process. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

6. *Rakhmatullin A.M.* Methods for solving the problem of completing operations in computer aided design of in-line garment production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 3 (411). P. 170...179.

7. *Meteleva O.V., Rumyantsev Ye.V., Buznik V.M.* Design of combined sewing technologies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 5 (407). P. 147...154.

8. *Womack J.P., Jones D.T.* Lean thinking. Banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press, 2003.

9. *Voronova E.YU., Vekshina A.A.* A synergistic approach to the use of lean manufacturing technologies in minimizing non-production costs // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 1 (403). P. 22...32.

10. *Rakhmatullin A.M., Budeeva O. N.* The deve--lopment of a manufacturing flow model of garments by graphs transformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, 753. P. 1…11.

11. *Rakhmatullin A.M.* Search algorithm for combinations of technological operations consistent with the in-line garment production time // Dizajn i tekhnologii. 2016, 51 (93). P. 38…55.

12. Completing operations for the in-line production of garments. State Registration Certificate for the Computer Software 2014663037 RU.

13. *Kaazik Yu.A.* Mathematical dictionary. Moscow: FIZMATLIT, 2007.

14. *Dimov Yu.V.* Metrology, standardization and certification. Saint Petersburg: Piter, 2010.

15. *Miller G.A.* The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. 1956, 101 (2). P. 343…352.

16. *Taha H.A.* Operation research: an introduction. New Jersey: Upper Saddle River, 2003.

17. *Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V., Demokratova E.B.* Qualimetry and quality management of textile materials. P. 1. Moscow: A. N. Kosygin Russian State University, 2017.

Рекомендовано кафедрой технологии и конструирования одежды Уфимского государственного нефтяного технического университета. Поступила 21.10.25.

УДК 687.016.5
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_257

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДЕЖДЫ СТАБИЛЬНОГО АССОРТИМЕНТА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR PRODUCING STABLE ASSORTMENTS OF CLOTHING WITH THE METHOD OF DYNAMIC PROGRAMMING

Х.Ф.МАМЕДОВА[1,2], Ф.А.МАМЕДОВ[1], И.В. ХАН-ХОЙСКАЯ[3] , Э.ДЖ. ЮСИФОВ[2], А.Р. ВЕЛИБЕЙЛИ[4], М.Ш. ДЖАФАРОВ[2]
KH. MAMEDOVA[1,2], F. MAMEDOV[1], I. KHAN-KHOYSKAYA[3], E.J. YUSIFOV[2], A.R. VELIBEYLI[4], M.SH. JAFAROV[2]

[1]Азербайджанский технологический университет, г. Гянджа
[2]Гянджинский государственный университет,Гянджа
[3]Азербайджанскийгосударственный аграрный университет, г. Гянджа
[4]Университет Одлар Юрду, Баку

[1]Azerbaijan Technological University, Azerbaijan, Candja
[2]Ganlja State University,Ganlja
[3]Azerbaijan State Agrarian University, Gandja
[4]Odlar Yurdu University, Baku

E-mail: xedicememmedova1986@gmail.com, fizuli.ekonomist@gmail.com

Сокращение затрат трудовых и материальных ресурсов при изготовлении швейных изделий для обеспечения требований по качеству является одним из основных направлений увеличения рентабельности продукции и повышения эффективности производства в целом. Для изделий специального назначения, изготавливаемых по государственным заказам, в частности форменной одежды, и других изделий стабильного ассортимента указанный путь повышения прибыли предприятий и рентабельности продукции является по существу единственным. Это обусловлено применением централизованно регулируемых цен на продукцию и исходные материалы, установлением нижнего предельного уровня рентабельности производства. Такой экономический механизм действует в секторе швейной промышленности Азербайджанской республики, производящем изделия стабильного ассортимента. Удельный вес этих изделий в общем объеме производства швейных предприятий достигает 50%, что выдвигает важную и актуальную для республики народно-хозяйственную проблему: изыскание и реализация путей сокращения затрат трудовых и материальных ресурсов при массовом производстве по государственным заказам швейных изделий стабильного ассортимента.

В данной работе рассматриваются задачи поиска оптимального варианта изготовления одежды по заданным исходным технологическим последовательностям: конструкция изделий, виды применяемых материалов, технологическая обработка и вычислительное оборудование.

Reducing labor and material costs while meeting quality requirements in garment manufacturing is a key strategy for increasing product profitability and overall production efficiency. For specialized items produced under government contracts—such as uniforms and other products with stable design specifications—this approach to boosting enterprise profits and product profitability is essentially the

only viable option. This is due to the use of centrally regulated prices for products and raw materials, and the establishment of the lower marginal level of production profitability. Such an economic mechanism operates in the sector of the garment industry of the Republic of Azerbaijan, which produces products of a stable assortment. These products account for up to 50% of the total output of garment enterprises, creating a significant and pressing economic challenge for the republic: identifying and implementing ways to reduce labor and material costs during the mass production of these standardized garments under government contracts.

This work addresses the tasks of finding the optimal method for manufacturing clothing based on given initial technological parameters including garment design, types of materials used, technological processing, and computing equipment.

Ключевые слова: технологический процесс, швейное производство, динамическое программирование, оптимизация.

Keywords: technological process, sewing production, dynamic programming, optimization.

В процессе производства одежды каждый менеджер или компания в сфере моды стремится к высокой производительности при минимальных затратах времени, а также к снижению себестоимости продукции, то есть к получению максимальной прибыли. Поэтому проектирование технологических процессов при производстве одежды должно быть направлено на то, чтобы, с одной стороны, сократить время производства, а с другой – обеспечить производство высокоэффективной и качественной продукции [1].

Реализация требований потребителя к уровню качества изделия должна быть осуществлена с учетом обеспечения необходимого уровня производительности труда. На различных предприятиях, изготовляющих один и тот же ассортимент одежды, технологические процессы неодинаковы. Такое положение приводит к различным затратам труда и материалов [2…4].

При проектировании технологического процесса производства одежды необходимо обеспечить выполнение следующих технико-экономических показателей:

$$П_n = О - С_n \geq [П_0] > П_С$$

или (1)

$$P_n = \frac{П_n}{С_n} 100 > P_С,$$

где $П_n$– прибыль после внедрения мероприятий; $[П_0]$– средний размер прибыли, который намечено получить в результате реализации мероприятий; $П_С$– прибыль до осуществления проектируемых мероприятий; $О$ – оптовая цена изделия; $С_n$– себестоимость изделий при проектируемой технологии; $P_С$– рентабельность до осуществления проектируемых мероприятий;P_n – рентабельность после внедрения мероприятий.

Вместе с тем затрата времени на изготовление изделия не должна превышать установленного (нормируемого) показателя, например, среднеотраслевого значения для рассматриваемого вида изделия или значения, установленного плановым заданием для конкретного предприятия:

$$T_n \leq [T_0], \quad (2)$$

где T_n– затрата времени при проектируемой технологии; $[T_0]$ – нормируемый уровень затраты времени при изготовлении изделия.

Таким образом, задача выбора оптимального значения себестоимости и трудоемкости в указанных интервалах в общем случае может быть сведена к компромиссу между величинами *С* и *Т*.

Оптимизационная задача синтеза технологического процесса изготовления изделия из допустимых вариантов обработки может быть записана в двух постановках: по критерию себестоимости С и по критерию трудоемкости Т.

При оптимизации по критерию себестоимости С условие оптимизации можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^{n\Sigma} a_{ij}C_{ij} \to min \quad \text{при ограничении} \quad \sum_{i=1}^{n} a_{ij}T_{ij} \le [T_0], \qquad (3)$$

где C_{ij}– стоимость изготовления i -го варианта j -й операции;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } i\text{-й вариант} \\ 0, & \textit{в} \text{ противном случае.} \end{cases}$$

При оптимизации по критерию трудоемкости Т условие оптимизации перепишется в виде:

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}T_{ij} \to min \text{ при ограничении } \sum_{i=1}^{n} a_{ij}C_{ij} \le [C_0], \qquad (4)$$

где T_{ij} – затрата времени на изготовление i -го варианта j -й операции.

Выбор критерия определяется конкретными условиями предприятия. Например, для предприятия, где есть острая нехватка рабочей силы, оптимизационную задачу целесообразнее решить исходя из условий (4) с учетом технических средств.

Очевидно, что оптимизация процесса изготовления всего изделия достигается при условии соответствующего (оптимального) подбора значений себестоимости и трудоемкости обработки на каждой операции технологического процесса производства изделия [5…9].

В частности, оптимизационная задача для Бакинской швейной фабрики может быть сведена к нахождению затраты времени, не превышающей расчетную, т. е. 1,62 часа, при минимальной себестоимости.

Задача решена методом динамического программирования [1]. Для реализации этого метода составлено функциональное рекуррентное уравнение:

$$f_k(t) = min\left[C_{ik}(t_{ik}) + f_{k-1}\left(T_{ljg} - t_k\right)\right] \qquad (5)$$

$$T_{доп} = \sum_{j=1}^{k} t_{ij}$$

$$i = f(k) \quad k = 2,3,\dots N,$$

где N – номер выбранного варианта в каждой операции;k – количество технологических операций;j – номер операции; t_{ij} – время i -го варианта j -й операции; $T_{\text{доп}}$ – ограничения по времени технологического процесса;$f_1(k)$ – зависимость стоимости от времени первой операции.

Уравнение (5) является функциональным уравнением метода динамического программирования.

Эта зависимость рекуррентна, т. к., зная $f_1(t)$, из (5) получаем $f_2(t)$, затем $f_3(t)$ и т. д. до последней операции $f_k(t)$. Распределение $f_k(t)$ и является искомой зависимостью $C = f(k)$, по которой можно построить оптимальную технологическую последовательность операций при любой из двух постановленных задач.

Рассмотрим для примера задачу выбора оптимальной технологии изготовления одежды. Примеры технологической последовательности, различные варианты исполнения и обработки деталей швейных изделий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номер операции	Наименование технологической операции	Варианты	Стоимость, к.	Затраты времени, с
1	Дублирование полочки клеевой прокладкой	1	97,701	30
		2	85,948	32
		3	79,737	36
2	Выстегивание бортовой прокладки	1	39,255	28
		2	50,174	30
		3	31,105	32
3	Сутюживание бортовой прокладки	1	1.398	70
		2	2,471	40

Примечание. Общее количество вариантов перебора$N = 3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$.

Для выявления оптимальной технологической последовательности $f(T)$ были рассчитаны затраты времени на выполнение всех операций по обработке деталей для всех 18 вариантов (прямой ход). В табл. 2 показаны отобранные целесообразные варианты.

Таблица 2

(T)	139,427	127,674	119,494	113,313	112,240
T	98	100	104	108	138

В соответствии с уравнением (5) рассчитан обратный ход выбора оптимальной цепочки вариантов (табл. 3).

Таблица 3

Номер цепочки вариантов	T_{ij}	C_{ij}	Номер вариантов операции		
			1	2	3
1	98	139,427	1	1	2
2	100	127,674	2	1	2
3	104	119,494	3	1	2
4	108	113,313	3	3	2
5	138	112,240	3	3	1

Графически эта зависимость показана на рис. 1, где для каждого из пяти членов оптимальной последовательности отложены значения t и C. Полученный график показывает дискретную нелинейную зависимость между стоимостью и временем обработки детали [10…14].

По зависимости $f(t)$ может быть определена оптимальная технология и выбраны соответствующие материалы, конструкции, методы их обработки и оборудование.

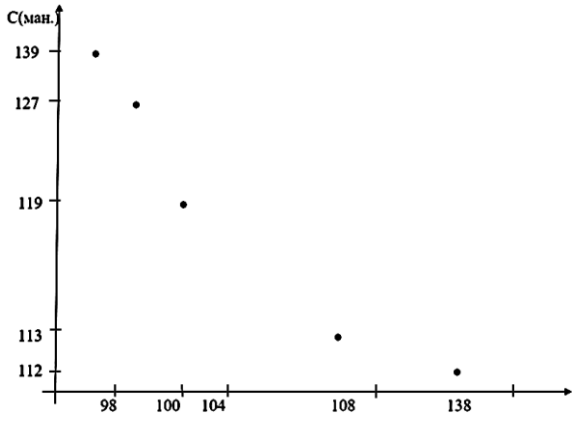


Рис. 1

При заданном числе технологических операций и вариантах изготовления по каждой операции расчет рациональной технологической последовательности состоит из сотен тысяч арифметических и логических действий. Поэтому для решения этой задачи необходимо использование ЭВМ [2]. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.



Рис. 2

Исследование зависимости суммарной стоимости технологического процесса от времени, затрачиваемого на изготовление изделия (рис. 3), показывает, что всю область изменения функции можно разбить условно на три зоны [15…20].

Первая зона может быть названа зоной высокой производительности труда. В эту зону входит совокупность точек с аргументами, лежащими в пределах

$$5600 \le T_I < 5660.$$

В этой зоне изделия изготавливаются с применением самых перспективных материалов, прогрессивной технологии и высокопроизводительного оборудования (как правило, дорогостоящего). Работа в данной зоне рекомендуется предприятиям, имеющим большой объем выпуска продукции, за счет которого обеспечивается необходимая рентабельность. Работа в этой зоне допустима только при хорошей и четкой организации производства, стабильной работе

оборудования, так как выход из строя и замена одного оборудования другим может существенно повлиять на параметры технологического процесса.

Вторая зона – зона со средней производительностью технологического процесса. Она лежит в пределах

$$5660 \leq T_2 < 5780.$$

Эта зона может быть рекомендована предприятию, располагающему более дешевым по сравнению с первой зоной оборудованием. Рекомендуется предприятиям, имеющим средний объем выпуска продукции. Примером может служить Бакинская швейная фабрика, где изготавливаются тысячи единиц изделий в год.

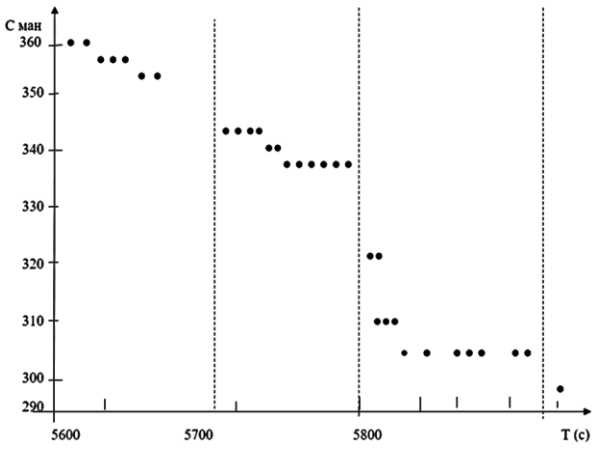


Рис. 3

Третью зону можно охарактеризовать как зону наиболее низкой стоимости изготовления. Эта зона лежит в пределах

$$5780 \leq T_3 \leq 5879$$

и характеризуется относительно невысокой производительностью труда. Она может быть использована предприятиями, специализированными на выпуске продукции малыми сериями.

Технологические процессы, входящие в данную зону, отличаются от технологических процессов предыдущих зон более высокой трудоемкостью изготовления изделия. Вместе с тем при работе в этой зоне при малых сериях может быть обеспечена более высокая рентабельность.

Повышение производительности труда здесь может быть достигнуто за счет применения приспособлений малой механизации и другой технологической и организационной оснастки.

Таким образом, выбор технологического процесса изготовления швейных изделий определяется уровнем организации производства на конкретном предприятии.

В Ы В О Д Ы

В результате проведенного исследования разработан подход к оптимизации технологических процессов изготовления швейных изделий, основанный на совместном анализе себестоимости и трудоемкости выполнения технологических операций. В отличие от традиционных методов, ориентированных преимущественно на минимизацию одного показателя, предложенная модель позволяет одновременно учитывать экономические и производственные ограничения, что обеспечивает более обоснованный выбор технологических решений.

Новизна работы заключается в построении математической модели синтеза технологического процесса швейного производства с использованием метода динамического программирования, позволяющего определять оптимальную последовательность технологических операций из множества допустимых вариантов их выполнения. Разработанное рекуррентное уравнение обеспечивает поиск решений с минимальной себестоимостью при заданных ограничениях по времени изготовления изделия либо с минимальной трудоемкостью при соблюдении установленных экономических требований.

В ходе исследования впервые для рассматриваемого класса швейных изделий получена и проанализирована дискретная зависимость суммарной стоимости технологического процесса от времени изготовления продукции. Это позволило выявить закономерности изменения экономических показателей в зависимости от уровня производительности и установить рациональные области функционирования технологической системы.

Существенным результатом работы является обоснование трех зон эффективности технологического процесса: зоны высокой производительности, зоны средней производительности и зоны минимальной себестоимости. Для каждой зоны определены особенности использования оборудования, материалов и организационно-технологических решений, а также условия их практического применения в зависимости от объема выпуска продукции и уровня технического оснащения предприятия.

Предложенный алгоритм позволяет автоматизировать выбор рациональных технологических цепочек, существенно сократить объем вычислений при проектировании производственных процессов и повысить обоснованность принимаемых управленческих решений. Разработанная методика может быть использована на швейных предприятиях различной мощности для снижения производственных затрат, повышения рентабельности и обеспечения требуемого уровня качества продукции.

Таким образом, новизна исследования определяется разработкой математического инструментария оптимизации технологических процессов швейного производства, выявлением новых закономерностей взаимосвязи между трудоемкостью и себестоимостью изготовления изделий, а также созданием алгоритма выбора рациональной технологии, адаптированного к различным условиям функционирования предприятий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беллман Р.* Динамическое программирование. М.: Изд-во иностр. литературы, 1960. 400 с.
2. *Филатов В.В. и др.* Проектирование информационных систем управления бизнес-процессами предприятий машиностроительного комплекса: учебник. М., 2020. 573 с.
3. *Филатов В.В. и др.* Проектирование информационных систем управления бизнес-процессами предприятий легкой промышленности: учебник. М., 2020. 587 с.
4. *Филатов В.В. и др.* Управление хозяйственными связями предприятия с поставщиками и потребителями: кол. моногр. М., 2015. 568 с.
5. *Леденева И.Н., Костылева В.В., Чугуй Н.В. и др.* Моделирование технологических параметров сборки заготовки верха обуви из войлока // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3 (411). С. 185…191.
6. *Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Ахмедова М.И. и др.* Совершенствование внешнеэкономических связей Азербайджана в сфере текстильного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 3 (417). С. 87…94.
7. *Гаджиева Н.А., Хан-Хойская И.В., Мамедова Х.Ф. и др.* Современные проблемы маркетинга в текстильной промышленности Азербайджана: вызовы и перспективы решений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №4 (418). С. 52…63.
8. *Мамедова Х.Ф., Мамедова Ф.А., Ташпулатов С.Ш. и др.* Развитие конкурентоспособности продукции легкой промышленности Азербайджана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №1 (409). С. 24…32.
9. *Рахматуллин А.М.* Методы решения задач комплектования операций при компьютерном моделировании потока швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3 (411). С. 185…191.
10. *Совина А.Р.* Методика определения готовности швейного предприятия к комплексной модернизации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №2 (416). С. 196…204.
11. *Гусейнов Ю.Р., Мамедова Г.Р., Ахмедова М.И. и др.* Критическое отношение к технопаркам // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №3(405). С. 74…80.
12. *Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И.* Управление университетским технопарком: ключевые критерии успеха // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. №3(411). С. 65…77.
13. *Маммедов Дж., Гусейнов Ю., Ахмедова М. и др.* Разработка маркетинговой стратегии эффективного управления информационной средой технопарка // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2025. Т. 3, №13 (135). С. 26…34.
14. *Мамедов Д.Ф., Гусейнов Ю.Р., Ахмедова М.И. и др.* Стратегия управления современными технопарками: информационное взаимодействие университета и общества // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. №5(419). С. 79…89.
15. *Оруджева Г., Агаев У., Гянджалиева Г. и др.* Моделирование мобильного промышленного робота для инновационного строительства, применяемого в технологическом парке // Международная конференция по автоматике и информатике (ICAI). Варна, Болгария, 2025.
16. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К.* Алгоритмы: построение и анализ: [пер. с англ.]. 2-е изд. М.: Вильямс, 2011. С. 386…441. – ISBN 978-5-8459-0857-5.
17. *Sanjoy Dasgupta, Christos H. Papadimitriou, Umesh Vazirani*. Algorithms. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2006. 336 с. – ISBN 0073523402.

18. *Акулич И.Л.* Математическое программирование в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 1986. С. 292…311.

19. *Bertele U., Brioshi F.* Nonserial dynamic programming. N. Y.: Academic Press, 1972. 235 p.

20. *Габасов Р., Кириллова Ф.М.* Основы динамического программирования. Минск: Изд-во БГУ, 1975. 262 с.

R E F E R E N C E S

1. *Bellman R.* Dynamic Programming. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1960. 400 p.

2. *Filatov V.V. and others.* Design of Information Systems for Business Process Management of Machine-Building Enterprises: textbook. Moscow, 2020. 573 p.

3. *Filatov V.V. and others.* Design of Information Systems for Business Process Management in Light Industry: textbook. Moscow, 2020. 587 p.

4. *Filatov V.V. and others.* Management of Enterprise Economic Relations with Suppliers and Consumers: collective monograph with international participation. Moscow, 2015. 568 p.

5. *Ledeneva I.N., Kostyleva V.V., ChuguI N.V. etc*. Modeling of technological parameters for assembly of felt shoes upper // // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2024, No. 3(411), pp. 185…191.

6. *Mamedova Kh.F., Mamedov F.A., Akhmadova M.I. etc*. Improvement of foreign economic relations of azerbaijan in textile production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025, No. 3(417), pp. 87…94.

7. *Gadjiyeva N.A., Khan-Khoyskaya I.V., Mamedova Kh.F. etc*. modern problems of marketing in the textile industry of Azerbaijan: challenges and prospects for solutions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025, No. 4(418), pp. 52…63.

8. *Mamedova Kh.F., Mamedova F.A., Tashpulatov S.Sh. etc*. Development of competitiveness of light industry products in Azerbaijan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2024, No. 1(409), pp. 24…32.

9. *Rakhmatullin A.M.* Methods for solving the problems of completing operations in computer aided design of in-line garment production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2024, No. 3(411), pp. 185…191.

10. *Sovina A.R.* Method of determining the readiness of a sewing enterprise for comprehensive modernization // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025. No. 2 (416). pp. 196…204.

11. *Huseynov Y.R., Mammadova G.R., Ahmadova M.I. etc*. Critical attitude to technology parks // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2023, No. 3(411), pp. 74…80.

12. *Huseynov Y.R., Ahmadova M.I.* University technology park management: key criteria for success // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2024, No. 3(411), pp. 65…77.

13. *Mammadov J., Huseynov Y., Ahmadova M. etc*. Development a marketing strategy for efficient management of the information environment of the technopark // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2025, vol. 3, No.13 (135), pp. 26…34.

14. *Mammadov J.F., Huseynov Y.R., Ahmadova M.I. etc*. Management strategy of modern technology park: information interaction between university and society // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2025, No. 5(419), pp. 79…89.

15. *Orujova G., Agayev U., Ganjaliyeva G. etc*. Modeling of a mobile industrial robot for innovative construction applications in a technology park // Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics (ICAI), Varna, Bulgaria, 2025.

16. *Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C.* Introduction to Algorithms. 2nd ed. Moscow: Williams Publishing House, 2011. P. 386…441.

17. *Dasgupta S., Papadimitriou C.H., Vazirani U.* Algorithms. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2006. 336 p.

18. *Akulich I.L.* Mathematical Programming in Examples and Problems. Moscow: Vysshaya Shkola, 1986. P. 292…311.

19. *Bertele U., Brioschi F.* Nonserial Dynamic Programming. New York: Academic Press, 1972. 235 p.

20. *Gabasov R., Kirillova F.M.* Fundamentals of Dynamic Programming. Minsk: Belarusian State University Publishing House, 1975. 262 p.

Рекомендована кафедрой управления АТУ. Поступила 23.01.26.

УДК 678:687.173:68.023
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_264

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ НИТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУХОВОЙ ОДЕЖДЫ

STUDY OF ADHESIVE TECHNOLOGY TO REDUCE PERMEABILITY OF THREAD JOINTS IN DOWN-FILLED CLOTHING

О.В. МЕТЕЛЕВА, Л.И. БОНДАРЕНКО

O.V. METELEBA, L.I. BONDARENKO

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: olmet07@yandex.ru, bondarenko.ivanovo@yandex.ru

В статье представлено исследование вариантов реализации технологии с применением клеевого пленочного материала для снижения проницаемости швов одежды на утеплителе из пуха. Технология не требует применения сварного оборудования. Опытный образец наноструктурированного клеевого пленочного материала состоял из основы и липкого клеевого слоя, защищенного в нерабочем состоянии несущим слоем силиконизированной бумаги. Липкий слой клея не требует дополнительного активирования. Склеивание происходит при сжатии склеиваемых поверхностей при комнатной температуре. Первый способ – внутришовный – позволяет проклеивать каждую выполненную соединительную строчку с расположением герметизирующего материала внутри между тканью верха и чехлом утеплителя из пуха. Второй способ – поверхностный – осуществляется после выстегивания деталей швейного изделия или после выполнения соединительных швов деталей со стороны утеплителя. Использована герметизирующая пленка разной ширины, соответственно 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 см. Установлено, что затраты времени на операцию проклеивания ниточных соединений увеличиваются с уменьшением ширины герметизирующей пленки от 2,0 см до 0,5 см. Узкая пленка требует более точной ориентации по отношению к ниточному соединению, поэтому для герметизации целесообразно применение КПМ шириной не менее 1,5 см. При внутришовной герметизации затраты на операцию приклеивания увеличиваются по сравнению с поверхностной герметизацией. Внутришовная герметизация позволяет герметизировать только параллельные или близко к параллели расположенные строчки выстегивания.

The article presents a study of the implementation options for technology using an adhesive film material to reduce the permeability of seams of clothing with down insulation. The technology does not require the use of welding equipment. The prototype of the nanostructured adhesive film material consisted of a base and a sticky adhesive layer, protected in the non-working state by a carrier layer of siliconized paper. A distinctive feature of the adhesive film material is the presence of a sticky adhesive layer on the reinforcing film base. It requires no additional activation. Bonding occurs when the surfaces being bonded are compressed at room temperature. The adhesive layer requires no additional activation. Bonding occurs when the surfaces being bonded are pressed together at room temperature. The first method—internal sealing—involves bonding each structural seam by placing the sealing material between the outer fabric and the down-insulation casing. The second method

- surface sealing - is carried out after quilting the parts of a garment or after completing the connecting seams of the parts from the side of the insulation. Sealing films of different widths were used: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 cm, respectively. It has been established that the time required for gluing thread joints increases as the sealing film width decreases from 2.0 cm to 0.5 cm. Narrow film requires more precise orientation relative to the thread joint, so it is advisable to use a sealing film with a width of at least 1.5 cm for sealing. With internal seam sealing, the costs for the gluing operation increase compared to surface sealing. In-seam sealing allows you to seal only parallel or nearly parallel quilting lines.

Ключевые слова: клеевой пленочный материал, одежды на утеплителе из пуха, герметизирующая пленка, липкий слой.

Keywords: adhesive film material, down-insulated clothing, sealing film, adhesive layer.

Актуальность исследования

Ведущие мировые бренды уделяют большое внимание технологиям, направленным на исключение появления пуха на швах и стегальных строчках. Конструкция соединений с внутренними переборками [1] используется ограниченно – только для изготовления одеял, в ней отсутствуют операции соединения слоев строчками, но увеличивается сложность производства объемного пакета, которое трудоемко относительно традиционной стегальной технологии, особенно для одежды.

Для устранения миграции пуха в верхней одежде предложено применять физико-химический способ скрепления с помощью различных полимерных композиций [2] или использовать материалы более плотных структур [3]. Оба этих варианта не решают проблему проницаемости ниточных соединений в полной мере.

Применение при производстве одежды сварной технологии для герметизации швов с помощью специальных лент все более широко распространяется благодаря расширению парка сварного оборудования (https://framis.it/en/rio-the-first-water-based-and-solvent-free-tape-and-film/ Дата обращения: 09.01.2026; https://shveymash.ru/docum/FRAMIS_ PRESENTATION_RUS.pdf?ysclid=mk6or5p2lt278985455. Дата обращения: 09.01.2026; https://sporttex.ru/eu-5000. Дата обращения: 09.01.2026; https://aliexpress.ru/item/1005010803570721.html?sku_id=12000053552990481&spm=a2g2w.productlist.search_results.1.9a3d1ea486EIPu. Дата обращения: 24.02.2026) [4, 5]. При изготовлении теплозащитных двухслойных пакетов с переборками или при сварном способе фиксации клеевого материала на поверхности ниточного шва сохраняются высокие теплозащитные свойства, меньше вероятность проникновения пуха на поверхность изделия.

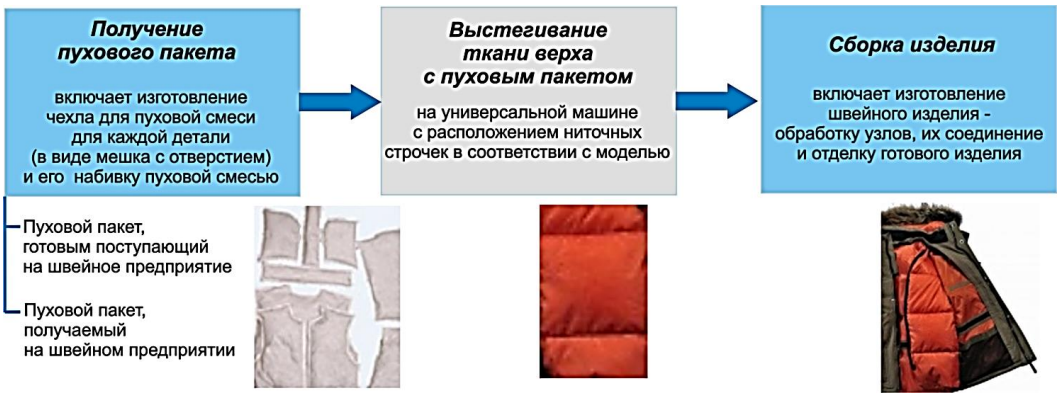


Рис. 1

В настоящее время при производстве швейных изделий на перопуховом утеплителе (ППУ) организуют процесс формирования непроницаемого для ППУ пакета изделий по двум схемам (рис. 1).

Следует отметить, что использование сварного оборудования осложнено разнородностью структуры пакета, сопровождается образованием значительных по ширине "холодных мостиков".

Осуществление всех применяемых в настоящее время в промышленности технологических решений, направленных на получение герметичных ниточных соединений, сопряжено с увеличением затрат времени, а значит, финансовых и других экономических затрат на производство швейных изделий: на приобретение дорогостоящих герметизирующих материалов и особенно сварного оборудования с компрессором.

Цель настоящей работы: исследование вариантов реализации технологии снижения проницаемости швов одежды на ППУ с применением клеевого пленочного материала (КПМ) [6] без необходимости использования сварного оборудования, их анализ и выбор наиболее эффективного из них в качестве альтернативы для существующих технологий.

Объекты и предметы исследований

Применение КПМ, разработанного специально для герметизации ниточных соединений, позволяет расширить количество предлагаемых способов снижения проницаемости для ППУ швов утепленной одежды.

На рис. 2 представлены альтернативные процессы получения соединений с применением КПМ с односторонним и двусторонним клеевым слоем. Для достижения блокирующего эффекта к проникновению перопуховой смеси при наиболее рациональных подходах к его организации с учетом гармонизации с существующими технологиями изготовления изделий на ППУ исследованы варианты технологии, осуществляемой в процессах выстегивания деталей или после получения полуфабриката изделия (рис. 2, б, в), поскольку они не требуют адаптации разработанного КПМ к условиям промышленного применения.

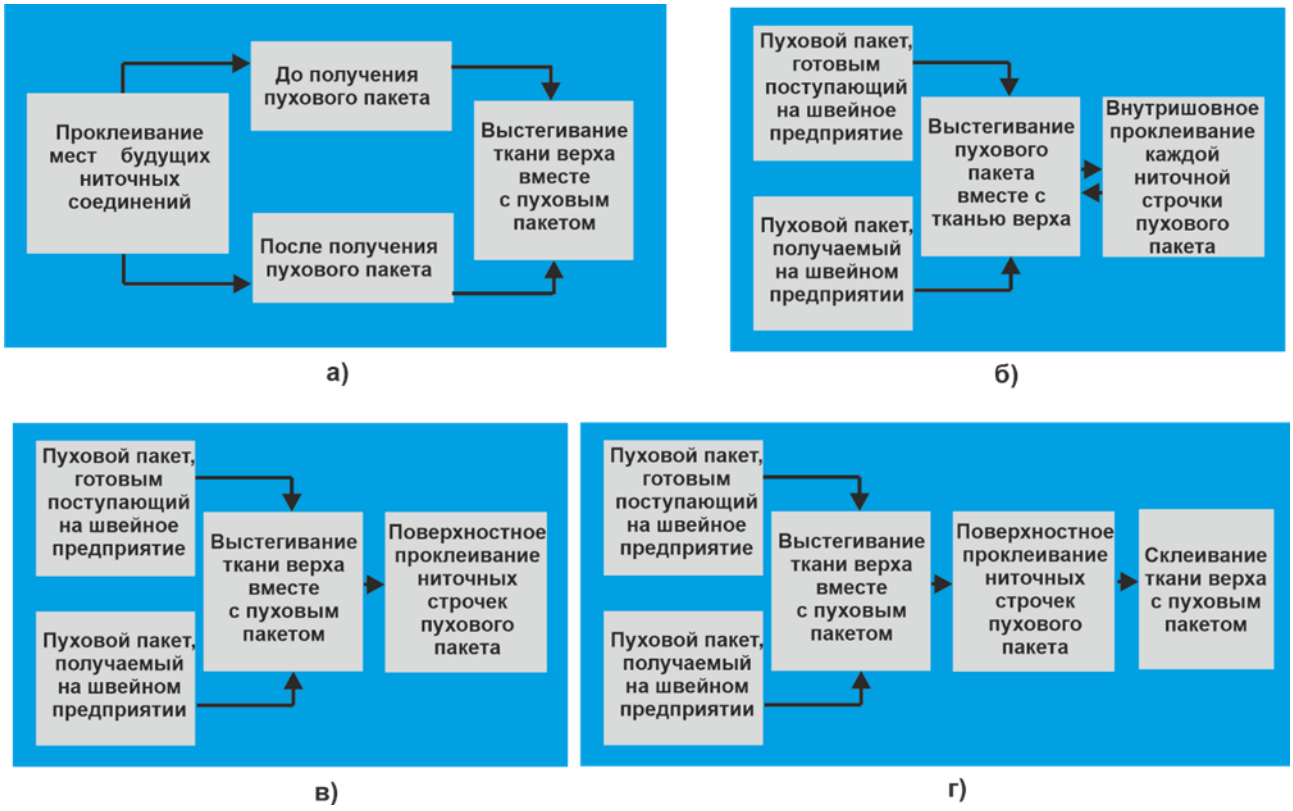


Рис. 2

На входе технологии герметизации ниточных соединений изделий на перопуховом утеплителе находился готовый пухпакет, представляющий собой деталь из пуходержащей синтетической ткани (чехла), заполненной перопуховой смесью, крой ткани верха, рулон клеевого пленочного материала исследуемой ширины. Опытный образец клеевого пленочного материала состоял из основы для обеспечения прочности и непроницаемости и липкого клеевого слоя, обеспечивающего соединение с текстильным материалом, изолированного в нерабочем состоянии несущим слоем силиконизированной бумаги. Длина полотна материала в рулоне – 10...16 м, ширина – 0,60 м. Для проведения исследований рулон нарезали в виде роликов заданной ширины (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 см) для оценки влияния ширины КПМ на затраты времени для проклеивания швов. Особенностью применения КПМ является наличие на армирующей основе пленки липкого слоя клея, который не требует дополнительного активирования. Склеивание происходит при сжатии склеиваемых поверхностей при комнатной температуре. Находясь при нормальной температуре в вязкотекучем состоянии, липкий клеевой слой КПМ способен заполнять макроотверстия ниточного соединения.

Для осуществления операции герметизации ниточных строчек и швов эффективно применение специальной машины модели KS-25 фирмы KS HUNAN ANXUANG MACHINE Co., Ltd, Китай (рис. 3), с рулонной подачей КПМ, оснащенной двумя роликами для приклеивания за счет прижима пленки к обрабатываемой детали или пакету деталей и устройством держателя рулона пленки.



Рис. 3

На выходе технологии герметизации ниточных соединений изделий на перопуховом утеплителе получали единый узел швейного изделия, состоящий из пухпакета и ткани верха, соединенных друг с другом ниточной строчкой, и герметизированный клеевым пленочным материалом.

Пухпакеты представляли собой модельные образцы, изготовленные в условиях действующего предприятия, набитые перопуховой смесью состава: пух 80 % и перо 20 % при плотности набивки 240 г/м^2, соединенные ниточными швами с шестью видами курточных материалов разной поверхностной плотности и отделки, используемых для производства одежды на перопуховом утеплителе. В табл. 1 представлены виды курточных материалов для изготовления исследуемых модельных образцов.

Таблица 1

Характеристика материала	Виды материалов					
	№ 1 Ткань курточная каландрированная	№ 2 Ткань курточная с ВО	№ 3 Ткань курточная с пленочным покрытием	№ 4 Ткань курточная с отделкой лаке	№ 5 Ткань курточная каландрированная	№ 6 Ткань курточная с ВО
Поверхностная плотность (масса 1 м^2), г/м^2	164	125	104	71	106	160
Фотография внешнего вида						

В соответствии с программой исследований соединение курточных материалов с пухпакетами осуществляли после предварительной намелки пропудриванием на лицевой стороне мелом места выполнения ниточных строчек. Соединение выполняли в

условиях промышленного производства на универсальной швейной машине двухниточного челночного стежка с улучшенной игольной транспортировкой материала марки YJ-65 MAXDO (Китай) при режимах: частота строчки – 4 ст./см; швейные нитки – 35 ЛЛ; игла № 80.

Программа исследований

Для определения программы выполнения ниточных строчек проведен анализ модельного ряда детской одежды на перопуховом утеплителе, выпускаемой ООО "Смарттекс", г. Иваново, и содержащей поверхностные ниточные соединения разного раппорта. На основе измерений и визуального анализа установлено, что:

- наиболее часто в моделях используют поперечное расположение соединительных строчек, обеспечивая таким образом предотвращение смещения перопуховой смеси вниз детали под действием силы тяжести;

- на деталях стана и на рукавах могут быть выполнены группы строчек с разным раппортом и расположением относительно друг друга;

- чаще всего в моделях присутствуют параллельные соединения на расстоянии от 3,0 до 10,0 см;

- чем дальше находятся друг от друга ниточные соединения, тем более плоским выглядит пакет детали. Кроме того, очевидно, объем участков деталей между строчками определяется и плотностью набивки. Расстояния между строчками, превышающие 7,0 см, не создают рельефных объемов, имеющих более плоский вид, а значит, не создают заметного натяжения материала детали даже при плотной набивке;

- наибольший угол наклона соединений относительно горизонтали не превышает 45 градусов, чтобы обеспечить сохранение равномерного объема пакета по вертикали;

- соединения не отличаются большим разнообразием конфигурации – близки к прямым линиям и имеют участки с большим радиусом кривизны.

По результатам выполненного анализа моделей пуховой одежды выбраны следующие варианты групп стегальных соединений для изготовления модельных образцов пухпакетов с применением различных видов курточных материалов, повторяющих разнообразие эстетического оформления деталей пуховой одежды:

- одиночные горизонтальные и наклонные соединительные строчки;

- группа параллельных горизонтальных соединений с расстояниями между строчками 3,0; 5,0; 7,0 см, обеспечивающих максимальное напряжение в результате формирования объемного пухового пакета детали;

- группа наклонных непараллельных соединений с радиусами кривизны 35…55 см и углом наклона в интервале 15…45 градусов. Все ниточные соединения пухпакетов с материалами верха подвергнуты герметизации приклеиванием КПМ.

Результаты исследований

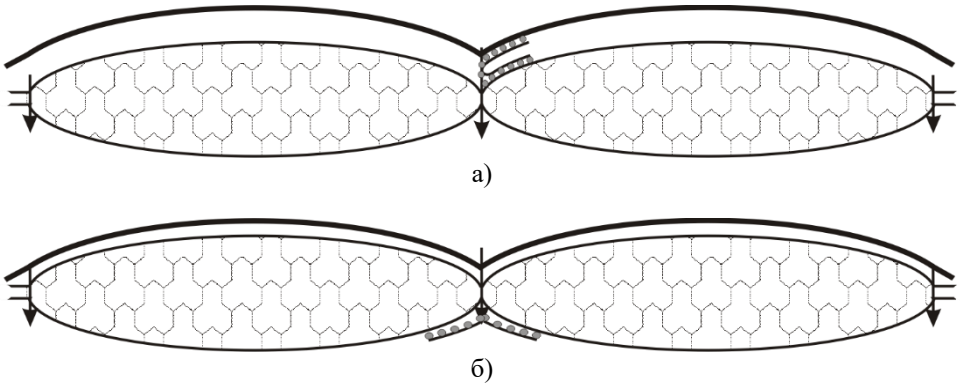
Особенностью применения КПМ является то, что его клеевой слой, находясь в вязкотекучем состоянии, способен течь и заполнять имеющиеся шероховатости поверхности субстрата. Увеличение площади контакта клеевого слоя с поверхностью субстрата приводит к росту адгезионной прочности получаемого клеевого соединения. При этом, чем более гладкая эта поверхность (каковыми являются поверхности курточных материалов и пухового чехла), тем быстрее происходит заполнение неровностей шероховатой поверхности и, значит, быстрее прочность клеевого соединения достигнет своего максимально возможного значения. Однако приклеивание КПМ на пуховой пакет с последующим настрачиванием ниточных строчек соединения вызывает сложности в качественном образовании ниточного соединения из-за высокой активности клеевого вещества.

С учетом особенности механизма действия клеевого слоя при проклеивании ниточных соединений возможны разные варианты применения технологии, исключающие воздействие клея в процессе стачивания. В настоящей работе исследованы следующие варианты реализации технологии снижения проницаемости ниточных соединений:

способ 1 – проклеивание каждой выполненной соединительной строчки с расположением КПМ между тканью верха и чехлом

пухового утеплителя. На рис. 4, а представлена схема размещения клеевого пленочного материала (способ 1);

способ 2 – проклеивание всех выполненных соединительных строчек с расположением КПМ на поверхности чехла пухового утеплителя, обращенной к подкладке. На рис. 4, б представлена схема размещения клеевого пленочного материала (способ 2).



а)

б)

Рис. 4

Способ 1 может быть использован при наличии на детали разного количества продольных или поперечных стегальных строчек, параллельных и непараллельных, с различным расстоянием между ними. Последовательность выполнения приемов операции после выполнения каждой стегальной строчки на детали швейного изделия, расположенной лицевой стороной кверху, следующая:

- заправить рулон КПМ в держатель рулона на машине для герметизации;

- отогнуть ткань верха и уложить деталь на нижний ролик по линии строчки соединения под верхний прижимной ролик машины для герметизации;

- отделить конец пленки КПМ от рулона, удалить антиадгезионный носитель с поверхности клеевого слоя на участке 5…10 мм и приклеить КПМ в начале ниточного соединения;

- КПМ для герметизации наложить клеевой стороной на строчку так, чтобы он захватывал ткань верха, ниточное соединение и ткань чехла пухового пакета (рис. 4, а), и приклеить КПМ вдоль ниточного соединения, удаляя одновременно антиадгезионный носитель с поверхности клеевого слоя. При герметизации шва необходимо расправлять шов во избежание заломов ткани. Не рекомендуется без необходимости растягивать пленку при ее приклеивании. Режим приклеивания КПМ: температура – 20...22 ºС, давление между роликами – 20...30 кПа, время контакта между роликами – 1...2 с. Если при герметизации шва рулон КПМ заканчивается, то необходимо заправить в рулонодержатель новый рулон и продолжить проклеивание оставшейся части шва с расположением КПМ внахлест – наложением конца пленки на 0,5 см на конец разрыва;

- визуально проверить качество выполненной операции, отогнуть деталь из ткани верха (рис. 4, б) в исходное пространственное положение;

- после настрачивания следующей стегальной строчки повторить все приемы по ее герметизации КПМ.

Способ 2 может быть использован при наличии на детали любого количества и разной конфигурации стегальных ниточных строчек, а также любых соединительных швов. После выстегивания отдельных деталей швейного изделия (соединения деталей верха с пуховыми пакетами соединительными строчками) или после выполнения соединительных швов деталей верха, соединенных с пуховыми пакетами, необходимо проклеить все ниточные соединения КПМ по изнаночной поверхности (со стороны чехла пухового пакета, обратной размещению детали верха). Последовательность выполнения приемов операции следующая:

- заправить рулон КПМ в держатель рулона на машине для герметизации;

- уложить на стол готовую стеганую деталь или полуфабрикат изнаночной стороной, т. е. пуховым пакетом вверх;

- отделить полоску КПМ от рулона, удалить антиадгезионный носитель с поверхности клеевого слоя на участке 5…10 мм и приклеить его в начале ниточного соединения. Начинать можно с любой строчки детали и проклеивать строчки в любом порядке, удобном исполнителю;

- КПМ наложить клеевой стороной на строчку так, чтобы он располагался симметрично относительно ниточного соединения (рис. 4, б), и приклеить КПМ на каждое ниточное соединение, удаляя одновременно антиадгезионный носитель с поверхности клеевого слоя. Режим приклеивания КПМ: температура – 20...22 ºС, давление прижима между роликами – 20...30 кПа, время – 1...2 с;

- визуально проверить качество выполненной операции.

В табл. 2 представлены результаты осуществления исследуемых технологий.

Таблица 2

Технология по способу 1: осуществляется за счет внутришовного проклеивания с расположением КПМ между тканью верха и чехлом пухового утеплителя	*Технология по способу 2:* осуществляется за счет поверхностного проклеивания с расположением КПМ на поверхности чехла пухового пакета готовой стеганой детали швейного изделия
	

Выполнено нормирование затрат времени на операции проклеивания ниточных соединений модельных образцов пакетов пуховой одежды при использовании КПМ для выбора оптимальной для работы его ширины. Нормирование осуществлено методом хронометража – повторяемость каждого измерения n=20. Результаты измере-

ний затрат времени на операцию "проклеивание шва соединения пухового пакета и ткани верха КПМ" (длина шва – 70,0±0,5 см) представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Содержание приема	Ширина пленки, см			
		0,5	1,0	1,5	2,0
		Время, с (способ 1/способ 2)			
1	2	3	4	5	6
1	Отогнуть деталь из ткани верха с поверхности пухового пакета в свободную сторону и уложить соединенный строчкой (строчками) пакет узла между роликами машины для герметизации относительно линии строчки	1,5/1,0			
2	Взять в руку конец пленки рулона	1	1	1	1
3	Отделить клеевой слой на участке 1,0 см конца пленки	2,5			
4	Уложить-приклеить конец клеевой пленки в начале строчки (шва)	2,5			
5	Приклеить пленку на поверхность обрабатываемого пакета при перемещении его между роликами, отделяя слой носителя	65,22/70 см	64,08/70 см	54,00/70 см	45,05/70 см
6	Взять ножницы, отрезать пленку от рулона, отложить ножницы	3,5			
7	Уложить пакет на стол, вернуть деталь верха в исходное положение	1,5/1,0			
	ИТОГО: среднее значение времени на соединение строчкой длиной 1 см пакета детали (по результатам двадцати измерений), с	1,09/0,92	1,08/0,90	0,94/0,76	0,81/0,63

Установлено, что затраты времени на операцию проклеивания ниточных соединений зависят от ширины пленки и увеличиваются с ее уменьшением от 2,0 см до 0,5 см. Это связано с удобством осуществления приема "приклеивание пленки" и одновременным отделением антиадгезионного носителя: чем меньше ширина пленки, тем точнее должна быть ориентация ее относительно ниточной строчки, что требует большего внимания и снижает скорость работы. Использование более широкой пленки (более 1,5 см) уменьшает напряженность, связанную с необходимостью точной ориентации пленочного материала на поверхности пухового пакета, и обеспечивает повышение скорости приклеивания независимо от применяемого способа.

Курточные ткани имеют очень плотную структуру, а КПМ – малую толщину. Клей не проникает через структуру курточных тканей, даже имеющих минимальную толщину (100 мкн). Этому способствует, очевидно, в большой мере высокая плотность курточных материалов (около 300 нитей / 10 см).

Органолептическое исследование поверхности модельных пакетов показало отсутствие выраженных различий во внешнем виде соединений, проклеенных КПМ разной ширины, в т. ч. при разном расстоянии между строчками соединения, отсутствие миграции клея на лицевую сторону изделий на перопуховом утеплителе. Внешний вид лицевой стороны проклеенных образцов не изменился.

ВЫВОДЫ

Установлено, что после проклеивания строчек клеевым пленочным материалом внешний вид лицевой стороны исследуемых пакетов, выстеганных с перопуховым утеплителем, не изменился.

Установлено, что затраты времени на операцию проклеивания ниточных соединений увеличиваются с уменьшением ширины пленки от 2,0 см до 0,5 см за счет необходимости более точной ориентации пленки по отношению к ниточному соединению, поэтому для герметизации целесо-

образно применение КПМ шириной не менее 1,5 см.

Показано, что при внутришовной герметизации затраты на операцию приклеивания КПМ увеличиваются по сравнению с поверхностной герметизацией за счет приема, обеспечивающего удаление детали верха из зоны работы и возвращение ее на место, на 7 с на строчку, включая передачу и возврат детали между настрачиванием и проклеиванием каждой строчки. Кроме того, внутришовная герметизация позволяет герметизировать только параллельные или близко к параллели расположенные строчки выстегивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дьяконова Е.В.* Технология обработки швов // Модный магазин. 2017, осень. С. 26. – https://e-mm.ru/magazine/view/umnye_shvy_973/ Дата обращения: 04.02.2026.
2. *Давлетбаев И.Г., Сабирова А.И.* Полимерные композиции в качестве скрепляющих материалов в перопуховых изделиях легкой промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2011, № 5. С. 269...270. – https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16146981
3. *Бунькова Т.О.* Проблемы подбора пакета материалов одежды с пухоперовым утеплителем // Молодой ученый. 2011. Т. 1, № 11 (34). С. 35...37. – URL: https://moluch.ru/archive/34/3837.
4. *Демидов С.* PFAFF Industrie Maschinen AG. Сварка как шаг в будущее // Швейная промышленность. 2006. № 1, январь-февраль. С. 11.
5. Пат. RU2177237C1 Способ снижения миграции составляющих объемного несвязанного утеплителя через швы. – https://patenton.ru/patent/RU2177237C1
6. *Метелева О.В., Бондаренко Л.И., Зобнина Е.В.* Исследование клеевого пленочного материала для проклеивания ниточных соединений // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6 (414). С. 146…154.

REFERENCES

1. *Dyakonova E.V.* Seam processing technology // Fashion store. 2017, autumn. P. 26. – https://e-mm.ru/magazine/view/umnye_shvy_973/ Date of access: 02/04/2026.
2. *Davletbaev I.G., Sabirova A.I.* Polymer composites as fastening materials in feather-down products of light industry // Bulletin of the Kazan Technological University. 2011, No. 5. P. 269...270. – https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16146981
3. *Bunkova T.O.* Problems of selection of a package of materials for clothing with down-feather insulation // Young scientist. 2011. Vol. 1, No. 11 (34). P. 35...37. – URL: https://moluch.ru/archive/34/3837.
4. *Demidov S.* PFAFF Industrie Maschinen AG. Welding as a step into the future // Sewing industry. 2006. No. 1, January-February. P. 11.
5. Patent RU2177237C1. Method for reducing the migration of components of bulk unbonded insulation through seams. – https://patenton.ru/patent/RU2177237C1
6. *Meteleva O.V., Bondarenko L.I., Zobnina E.V.* Study of adhesive film material for gluing thread joints // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 6 (414). P. 146…154.

Рекомендована НОЦ "Центр компетенций текстильной и легкой промышленности" ИВГПУ. Поступила 11.03.26.

УДК 677.014-615.468
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_273

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВОЗДУХА В КАМЕРЕ РАЗРЫХЛИТЕЛЯ-ОЧИСТИТЕЛЯ

THEORETICAL RESEARCH OF AIR VELOCITY DISTRIBUTION IN THE LOOSENER-CLEANER CHAMBER

И.Г. ХОСРОВЯН, А.А. ХОСРОВЯН, Р.Р. АЛЕШИН, Г.А. ХОСРОВЯН

I.G. KHOSROVYAN, A.A. KHOSROVYAN, R.R. ALYOSHIN, G.A. KHOSROVYAN

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: khosrovyan_haik@mail.ru

Разработана математическая модель для расчета распределения скоростей воздуха в зоне разрыхления камеры разрыхлителя-очистителя волокнистых материалов. Проанализировано поведение волокнистых клочков на конечном участке их винтового движения вдоль поверхности рабочего барабана с точки зрения механики с учетом того, что технологическую зону разрыхлителя-очистителя на начальном участке можно аппроксимировать асимметричным каналом между двумя соосными цилиндрами: одним – вращающимся рабочим барабаном разрыхлителя-очистителя и вторым – неподвижным ограждением. Получены зависимости для расчета относительных скоростей, которые необходимы для теоретического изучения движения волокнистых клочков в зоне разрыхления разрыхлителей-очистителей.

A mathematical model has been developed to calculate the air velocity distribution within the opening zone of a fibrous material loosener-cleaner chamber. The behavior of fiber tufts during the final stage of their helical motion along the working drum surface was analyzed from a mechanical perspective, taking into account that the processing zone of the loosener -cleaner can be approximated—in its initial section—as an asymmetric channel formed by two coaxial cylinders: the rotating working drum and a stationary casing. Relationships were derived for calculating the relative velocities required for the theoretical study of fiber tuft motion within the opening zone of loosener –cleaners.

Ключевые слова: разрыхлитель-очиститель, воздушные потоки, радиус барабана, радиус ограждения, скорость воздуха, скорость барабана.

Keywords: loosener-cleaner, airflows, drum radius, enclosure radius, air velocity, drum speed.

Разрыхление и очистка волокнистых материалов, состоящих из хлопковых, либо хлопкольняных, либо льняных котонизированных и других волокон, осуществляется обычно на первой стадии в однобарабанных и двухбарабанных разрыхлителях-очистителях. То и другое оборудование имеет технологическую зону, которая представляет собой пространство между рабочим барабаном (рабочими барабанами) и ограждением. В зависимости от стадии разрыхления и очистки используются рабочие барабаны, на поверхности которых размещены либо колки, либо пильчатая гарнитура.

Для теоретического изучения движения волокнистой массы и сорных примесей в зоне разрыхления, а также для расчета условия движения волокнистой массы и сорных примесей необходимо, прежде всего, изучить движение воздушных потоков в зоне разрыхления [1…4]. Для этого выполнена разработка математической модели для расчета распределения скоростей воздуха в камере однобарабанных и двухбарабанных разрыхлителей-очистителей волокнистых материалов.

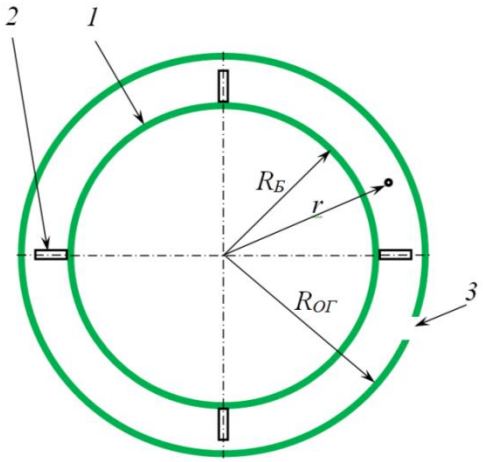


Рис. 1

Рассмотрим технологическую зону однобарабанного разрыхлителя-очистителя (рис. 1), на поверхности рабочего барабана 1 которого установлены колки 2. В технологическую зону поступает воздушно-волокнистая смесь. Расход нагнетаемого воздуха в технологическую зону через щель 3 обозначим L_0, радиус кривизны ограждения – $R_{ОГ}$.

Проанализируем поведение волокнистых клочков на конечном участке их винтового движения вдоль поверхности рабочего барабана с точки зрения механики. На этом участке примем, что технологическую зону разрыхлителя-очистителя на начальном участке можно аппроксимировать асимметричным каналом между двумя соосными цилиндрами: одним – вращающимся рабочим барабаном разрыхлителя-очистителя и вторым – неподвижным ограждением. Площадь поперечного сечения канала обозначим через S. Тогда

$$S = \pi(R_{\text{ОГ}}^2 - R_{\text{Б}}^2), \qquad (1)$$

где $R_Б$ – радиус рабочего барабана.

Средняя скорость воздуха $V_{ср.в}$ в осевом направлении рабочего барабана находится делением величины расхода воздуха L_0 на величину площади поперечного сечения канала S:

$$V_{ср.в} = \frac{L_0}{S} = \frac{L_0}{\pi(R_{ОГ}^2 - R_Б^2)}. \qquad (2)$$

Относительная осевая скорость воздуха равна

$$\bar{V}_{a,X} = \frac{V_{ср.в}}{\omega R_Б}, \qquad (3)$$

где ω – угловая скорость рабочего барабана. Учитывая соотношение между угловой скоростью рабочего барабана и частотой его вращения, имеем:

$$\bar{V}_{a,X} = \frac{L_0}{\pi\omega R_Б(R_{ОГ}^2 - R_Б^2)} = \frac{30L_0}{\pi^2 n_Б R_Б(R_{ОГ}^2 - R_Б^2)}, \qquad (4)$$

где $n_{\text{Б}}$ – частота вращения рабочего барабана.

Обозначим через r – радиальное расстояние от оси барабана до клочка материала. Полагаем, что азимутальное аэродинамическое поле можно моделировать как воздушный поток между двумя соосными цилиндрами, когда внутренний цилиндр с радиусом $R_{\text{Б}}$ вращается, а внешний цилиндр с радиусом $R_{\text{ОГ}}$ неподвижен. Отметим, что в силу вязкости воздуха его окружная скорость на уровне $r = R_{\text{Б}}$ равна окружной

скорости барабана $V_Б = \omega R_Б$. На неподвижном ограждении, то есть на расстоянии $r = R_{ОГ}$, считаем, что скорость воздуха равна нулю.

Согласно [5…8] окружную скорость воздуха в этом случае можно определить по следующей формуле:

$$V_{a,Y} = A_Y r + \frac{B_Y}{r}, \qquad (5)$$

где $A_Y = A_Y(R_Б, R_{ОГ}, \omega)$,
$B_Y = B_Y(R_Б, R_{ОГ}, \omega)$.

В [5] доказано, что

$$A_Y = -\frac{R_Б^2 \omega}{R_{ОГ}^2 - R_Б^2}, \qquad (6)$$

$$B_Y = \frac{R_Б^2 R_{ОГ}^2 \omega}{R_{ОГ}^2 - R_Б^2}. \qquad (7)$$

Полученная формула (5) может быть использована и для двухбарабанного разрыхлителя-очистителя. С применением формулы (5) в теоретических исследованиях разработанного нами двухбарабанного разрыхлителя-очистителя (рис. 2: 1 и 2 – рабочие барабаны, 3 – колки и 4 – неподвижный цилиндр) [9, 10] получен график распределения окружных скоростей воздуха в камере двухбарабанного разрыхлителя-очистителя (n = 500 мин$^{-1}$, $R_Б$ = 0,25 м, $h_к$ = 0,1 м) (рис. 3).

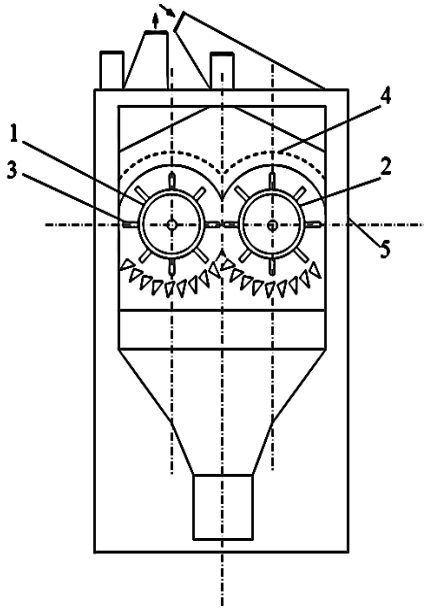


Рис. 2



Рис. 3

На основе вышеописанных теоретических исследований выводим следующую формулу для расчета окружной скорости воздуха в технологической зоне:

$$\bar{V}_{a,Y} = \frac{V_{a,Y}}{\omega R_Б} = \bar{A}_Y r + \frac{\bar{B}_Y}{r}, \qquad (8)$$

где $\bar{A}_Y = \bar{A}_Y(R_Б, R_{ОГ})$; $\bar{B}_Y = \bar{B}_Y(R_Б, R_{ОГ})$.

Очевидно, что

$$\bar{A}_Y = -\frac{R_Б}{R_{ОГ}^2 - R_Б^2}, \qquad (9)$$

$$\bar{B}_Y = \frac{R_Б R_{ОГ}^2}{R_{ОГ}^2 - R_Б^2}. \qquad (10)$$

Обозначим

$$r_{rel} = r/R_Б. \qquad (11)$$

Тогда из (6) получим, что

$$\bar{V}_{a,Y} = A_{Y1} r_{rel} + \frac{B_{Y1}}{r_{rel}}, \qquad (12)$$

где $A_{Y1} = \bar{A}_Y R_Б = -\frac{R_Б^2}{R_{ОГ}^2 - R_Б^2} = -\frac{1}{R_1^2 - 1}$;

$$B_{Y1} = \frac{\bar{B}_Y}{R_Б} = \frac{R_1^2}{R_1^2 - 1};\ R_1 = R_{ОГ}/R_Б.$$

Так как $r = R_Б + b$, то

$$\bar{V}_{a,Y} = A_{Y1}(1 + b_{rel}) + \frac{B_{Y1}}{1 + b_{rel}}, \qquad (13)$$

где $b_{rel} = b/R_Б$.

Отметим, что величина b_{rel} изменяется в диапазоне от нуля до значения $R_1 - 1$. График зависимости $\bar{V}_{a,Y}$ от b_{rel} приведен на рис. 4.

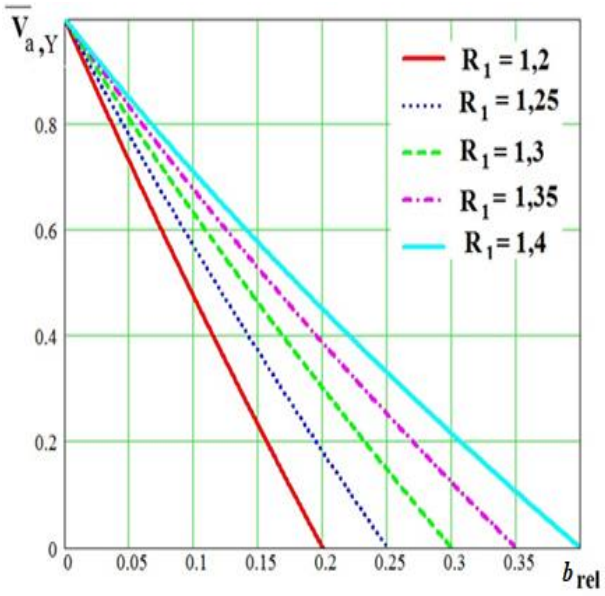


Рис. 4

Полученные зависимости для расчета относительных скоростей $\bar{V}_{a,X}$ и $\bar{V}_{a,Y}$ далее будут необходимы для теоретического изучения движения волокнистых клочков в зоне разрыхления разрыхлителей-очистителей.

ВЫВОДЫ

На основе теоретического исследования процесса движения воздушных потоков в зоне разрыхления в разрыхлителях-очистителях волокнистых материалов разработана математическая модель для расчета распределения скоростей воздуха в зоне разрыхления камеры разрыхлителя-очистителя волокнистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А.* Общая теория динамики волокнистых комплексов в процессе их взаимодействия с рабочими органами разрыхлителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 6. С. 194…197.

2. *Муродов О.Ж., Рудовский П.Н., Корабельников А.Р.* Обоснование параметров и конечно-элементное моделирование движения хлопковоздушной смеси в сепараторе хлопка // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1 (397). С. 266…271.

3. *Houghton E.L., Carpenter P.W., Coolicott S.H., Valentine D.T.* Aerodynamics for Engineering Students. Oxford. Butterworth-Heinemann, 2013. 717 p.

4. *Tapan K. Sengupta* Theoretical and Computational Aerodynamics. IIT Kanpur, India, 2015. 517 p.

5. *Красик Т.Я.* Совершенствование процессов разрыхления, очистки и смешивания для производства хлопкольняной пряжи: дис.… канд. техн. наук. Иваново: ИГТА, 2012. 193 с.

6. *Cai Y.* Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003, 147 p.

7. *Богословский С.В.* Физические свойства газов и жидкостей: учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2001. 73 с.

8. *Назаров Д.В., Никитин А.Н., Тарасова Е.В.* Экспериментальная аэродинамика: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самарского университета, 2020. 176 с.

9. Пат. 2785538 Российская Федерация. Разрыхлитель очиститель волокнистых материалов.

10. *Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А.* Математическое моделирование движения волокнистого комплекса на колке барабана разрыхлителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 4. С. 85…88.

REFERENCES

1. *Hosrovyan I.G., Krasik T.Ya., Hosrovyan G.A.* The general theory of dynamics of fibrous complexes in the process of their interaction with working elements of an opener // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. №6. P. 194…197.

2. *Murodov O.J, Rudovskiy P.N., Korabelnikov A.R.* Substantiation of parameters and finite element modeling of hie movement of a cotton-air mixture in a cotton separator // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 1 (397). P. 266…271.

3. *Houghton E.L., Carpenter P.W., Coolicott S.H., Valentine D.T.* Aerodynamics for Engineering Students. Oxford. Butterworth-Heinemann, 2013. 717 p.

4. *Tapan K. Sengupta* Theoretical and Computational Aerodynamics. IIT Kanpur, India, 2015. 517 p.

5. *Krasik T.Ya.* Improvement of the processes of loosening, cleaning, and mixing for the production of cotton yarn: diss... PhD in Engineering. Ivanovo: IGTA, 2012. 193 p.

6. *Cai Y.* Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003. 147 p.

7. *Bogoslovsky S.V.* Physical Properties of Gases and Liquids: Tutorial. SPb.: SPbSUAP, 2001. 73p.

8. *Nazarov D.V., Nikitin A.N., Tarasova E.V.* Experimental Aerodynamics: Textbook. Samara: Samara University Publishing House, 2020. 176 p.

9. Patent RF 2785538 Russian Federation. Baking powder cleaner for fibrous materials.

10. *Khosrovyan I.G., Krasik T.Ya., Khosrovyan G.A.* Mathematical modeling of fibrous complex movement on an opener drum spike // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2013. №4. P. 85…88.

Рекомендовано кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 29.12.25.

УДК 699.81 : 677
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_278

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УЧЕТОМ МАТЕРИАЛОВ С ТЕМПЕРАТУРОЗАВИСИМЫМИ СВОЙСТВАМИ

MODELING OF FIRE PROTECTION OF TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISE STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT MATERIALS WITH TEMPERATURE-DEPENDENT PROPERTIES

Д.В. ОБРУЧЕВ[1], А.А. ОВЧИННИКОВ[2], В.Е. РУМЯНЦЕВА[1,2], С.В. ГЕРГИШАН[2], Ю.П. ОСАДЧИЙ[1]

D.V. OBRUCHEV[1], A.A. OVCHINNIKOV[2], V.E. RUMYANTSEVA[1,2], S.V. GERGISHAN[2], YU.P. OSADCHY[1]

**([1]Ивановский государственный политехнический университет,
[2]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)**

**([1]Ivanovo State Polytechnic University,
[2]Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia)**

E-mail: nisigasa@mail.ru

В статье представлены результаты изучения изменения теплотехнических свойств строительных композитов при развитии пожара и моделирования развития критических температур в материалах, приводящих к снижению огнестойкости конструкции в целом.

The article presents the results of a study on changes in the thermal properties of construction composites during the course of a fire, as well as the modeling of critical temperature development within the materials—factors that lead to a reduction in the overall fire resistance of the structure.

Ключевые слова: пожарная безопасность, легкая промышленность, материаловедение, математическое моделирование, композиты.

Keywords: fire safety, light industry, materials science, mathematical modeling, composites.

Введение

Создание безопасных условий труда, сохранение жизни и здоровья работников, снижение рисков аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, минимизация негативного влияния производства на окружающую среду и обеспечение пожарной безопасности – основные цели производственной безопасности. В отличие от промышленной безопасности, которая

регламентируется Федеральным законом № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", производственная безопасность регламентируется различными нормативными документами: федеральное законодательство, Трудовой кодекс, ГОСТы, СНиПы и другие технические регламенты. Они устанавливают требования к безопасности оборудования, технологических процессов и условий труда на уровне государства. В дополнение к ним разрабатываются межведомственные инструкции и внутренние документы предприятия. В общем случае понятие "производственная безопасность" – это комплексное состояние защищенности активов, работников, третьих лиц (включая их имущество) и окружающей среды от воздействия негативных факторов, происшествий, вредных и опасных производственных факторов [1…3].

Одной из важнейших составляющих производственной безопасности является пожарная безопасность. Особенно важна пожарная безопасность для предприятий текстильной и легкой промышленности. Ядром отрасли традиционно считается текстильное производство. Кроме того, выделяют отделочное производство: отбеливание, крашение, печать рисунков, заключительная отделка тканей [4, 5], а также швейное производство, большой сегмент которого содержит производство аксессуаров и спецодежды [6].

Блок кожевенно-обувной и меховой промышленности традиционно выделяют в отдельный производственный кластер. Если его исключить, то в текстильно-швейном комплексе главным пожароопасным фактором становится волокнистая пыль и легковоспламеняемость материалов. Поэтому для текстильных производств действуют ужесточения по сравнению с обычными производствами в области пожарной безопасности, а именно: категорию по взрывопожарной опасности чаще устанавливают Б (пыль, способная к взрыву), а не просто В1-В4; класс зоны принимают В-II (взрывоопасные пылевые смеси) или В-Iа (только для швейных при возможности возникновения разряда статического электричества). На таких предприятиях обязательны к применению искрогасители на этапе аспирации, взрывные клапаны на пылекамерах, автоматические системы пылеудаления с блокировкой станков при остановке вентиляции.

Несмотря на более жесткие требования к пожарной безопасности для предприятий текстильной и легкой промышленности пожары на них все же случаются. Так, на территории Ивановской области и г. Иваново произошло несколько крупных пожаров (табл. 1).

Таблица 1

Дата	Предприятие	Площадь, м^2	Жертвы
03.04.2017	Цех по производству перчаток, г. Иваново	600	2 пожарных погибли
12.07.2017	ООО "Навтекс", Ивановская область	400	Эвакуировано 50 человек
17.07.2017	Текстильное предприятие, Наволоки	400	Эвакуировано более 50 человек
18.05.2018	Текстильная фабрика, г. Кинешма	600	Эвакуировано более 50 человек и 17 единиц техники
20.02.2018	Швейная фабрика, г. Иваново	350	1 погибший

По данным статистической отчетности, динамика количества пожаров в зданиях для производства и обработки текстильных изделий за 2016-2020 гг. показывает тенденцию к снижению с 27 пожаров в год в 2016 до 12 в 2020 году [7, 8]. Перечень причин пожаров на предприятиях легкой промышленности по данным МЧС представлен в табл. 2.

Важно, что пожары вызывают не только термическое поражение людей, они воздействуют на конструктивные элементы зданий и сооружений, в которых расположены производственные цеха и оборудование.

При длительном высокотемпературном воздействии металлические и железобетонные конструкции теряют несущую способность и устойчивость к нагрузкам, что приводит к разрушению конструкции и влечет еще больший ущерб.

Таблица 2

Категория причины	Конкретные причины. Источник
Технологические	Самовозгорание хлопка и отходов; фрикционные искры при ударе металла о металл; искровые разряды статического электричества; скопление пуха и пыли
Электротехнические	Короткое замыкание; перегрузка электродвигателей; искрение в пускорегулирующей аппаратуре; некачественная изоляция
Механические	Перегрев подшипников; недостаточная смазка трущихся частей; попадание посторонних предметов (камни, металл) в быстровращающиеся механизмы
Организационные	Нарушение графика уборки пыли; курение в неположенных местах; проведение огневых работ без соблюдения мер безопасности; хранение промасленной ветоши более 2-4 часов
Конструкционные	Неправильно спроектированная вентиляция; отсутствие искрогасителей; ошибки монтажа электрооборудования

В отличие от специализированных предприятий, предназначенных для теплового воздействия (горячие цеха металлургических производств, химические реакторы, коксовые батареи, тепловые станции), где проектом заложены характеристики материалов, обеспечивающие их высокую стойкость к тепловому воздействию, для промышленных зданий и сооружений, работающих в обычных условиях, проектные организации самостоятельно определяют методы обеспечения требуемой огнестойкости. Поскольку цеха и помещения швейного кластера чаще всего располагаются не в специализированных зданиях, для обеспечения повышенной огнестойкости строений и выполнения требований к взрывопожароопасности перспективным методом является применение огнезащитных покрытий по поверхности конструкции. Такие покрытия могут обеспечить рост времени прогрева конструкций до критических температур либо вовсе предотвратить разогрев конструкции. Сами покрытия должны иметь достаточную стойкость к высокотемпературному воздействию, чтобы после такого воздействия они сохраняли свои защитные свойства [9, 10].

Методика

В целях подбора наиболее эффективного огнезащитного покрытия и для принятия решения об утверждении толщины слоя необходимо определить значения критической температуры наиболее слабого элемента системы при развитии пожара. В качестве модельной принята схема, описывающая плиту перекрытия над помещением, в котором пожар развивается по стандартной схеме, а ключевым параметром является температура рабочей арматуры, критическое значение которой составляет 500°С. Само перекрытие можно представить бесконечной многослойной пластиной, где один из слоев и будет моделировать арматуру, а остальные – бетон и огнезащитный слой.

Ранее мы предложили в качестве огнезащитного материала состав жаростойкого бетона с шамотным заполнителем и композиционным вяжущим, состоящим из высокоглиноземистого цемента, жидкого стекла и тонкомолотой алюмосиликатной добавки [11]. Этот состав обладает высокой адгезией к существующим железобетонным и кирпичным поверхностям, высокой прочностью, огнеупорностью и термостойкостью. Изменяя огнеупорный заполнитель на менее теплопроводные (вермикулит, туф), можно регулировать теплотехнические параметры конечного огнеупорного покрытия. Для определения эффективности покрытия была использована конечно-разностная модель нестационарной теплопроводности, которая позволила определить время прогрева арматуры в железобетоне при заданных параметрах слоев: толщины, плотности, теплопроводности, теплоем-

кости. Результат моделирования представлен на рис. 1…5.

Однако при прогреве материалы также изменяют свои теплофизические свойства: плотность, теплопроводность, теплоемкость. Поэтому при моделировании нужно принимать эти факторы в расчет [12, 13]. В этом случае модель будет выглядеть иначе.

Рассмотрим многослойную бесконечную пластину общей толщиной L, состоящую из M слоев, координата x направлена по толщине пластины:

3. Формулы:

$$0 = x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_{M-1} < x_M = L, \quad (1)$$

где x_i – координаты границ слоев.

Толщина i-го слоя будет:

$$\delta_i = x_i - x_{i-1}, \quad (2)$$

где i = 1,2, …, M.

Общая толщина составит

$$L = \sum_{i=1}^{M} \delta_i \quad (3)$$

для области определения

$$(x, t) \in [0, L] \times [0, t_{max}]. \quad (4)$$

Для каждого слоя процесс теплопереноса описывается нестационарным нелинейным уравнением теплопроводности:

$$\rho_i(T) c_i(T) \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i(T) \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial x}\right), \quad (5)$$

где i = 1,...,M; $Ti(x, t)$ – температура в i-м слое, °C; $\rho_i(T)$ – плотность материала i-го слоя, зависящая от температуры, кг/м^3; $c_i(T)$ – удельная теплоемкость, зависящая от температуры, Дж/(кг К); $\lambda_i(T)$ – коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры, Вт/(м К).

При температуропроводности процесс теплопереноса будет иметь вид:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i(T) \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho_i c_i} \frac{\partial \lambda_i}{\partial T} \left(\frac{\partial T_i}{\partial x}\right)^2, \quad (6)$$

где $\alpha_i(T) = \frac{\lambda_i(T)}{\rho_i(T) \cdot c_i(T)}$ – коэффициент температуропроводности, а в случае если зависимостью теплопроводности можно пренебречь в пределах шага, то зависимость (6) примет вид:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i(T) \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2}. \quad (7)$$

В начальный момент времени вся система имеет заданное распределение температуры:

$$T(x, 0) = T_0(x), \forall x \in [0, L] \quad (8)$$

для однородного начального поля

$$T(x, 0) = T_{init} = const. \quad (9)$$

На обеих поверхностях пластины действуют смешанные граничные условия III рода (конвекция и излучение), где левая граница (нижняя согласно модели прогрева перекрытия для x = 0):

$$-\lambda(T) \frac{\partial T_i}{\partial t} = h_i[T_{env1}(t) - T(0, t)] + \\ + \varepsilon_1 \sigma[T_{env1}^4(t) - T^4(0, t)], \quad (10)$$

а правая граница (верхняя граница перекрытия для x = L):

$$-\lambda_M(T) \frac{\partial T_i}{\partial t} = h_2[T_{env2}(t) - T(L, t)] + \\ + \varepsilon_2 \sigma[T_{env2}^4(t) - T^4(L, t)], \quad (11)$$

где h_1, h_2, – коэффициенты конвективной теплоотдачи, Вт/(м^{2}К); $\varepsilon_2, \varepsilon_2$ – степень черноты поверхности; $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана–Больцмана, Вт/(м^{2}К^4); $T_{env1}(t), T_{env2}(t)$ – температура, К.

Для стандартного пожара (ISO 834) температура газовой среды при пожаре описывается зависимостью:

$$T_{fire}(t) = T_0 + 345 \log_{10}(8T + 1), \quad (12)$$

где T = T/60 – время в минутах; T_0 = 20° C – начальная температура.

Для расчетов температуру переводим в абсолютную шкалу:

$$T_{fire}^{K}(t) = T_{fire}(t) + 273.15. \quad (13)$$

Тогда на внутренних границах между слоями выполняются условия идеального теплового контакта:

$$T_i(x_i, t) = T_{i+1}(x_i, t)\,, \quad (14)$$

где i = 1,2,…, M.

Непрерывность теплового потока для каждой ячейки определится из зависимости:

$$-\lambda_i(T)\frac{\partial T_i}{\partial x} = -\lambda_{i+1}(T)\frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}\,, \quad (15)$$

где i = 1,2,…, M – 1.

Так как теплотехнические свойства материалов зависят от температуры, то для каждого материала они задаются как функции температуры в соответствии с Eurocode 1992-1-2 [14] и определятся:

$$\lambda_i(T) = f_{\lambda,i}(T), \quad (16)$$
$$\rho_i(T) = f_{\rho,i}(T), \quad (17)$$
$$c_i(T) = f_{c,i}(T). \quad (18)$$

В частности, для бетона теплопроводность определяется зависимостью (19), удельная теплоемкость (с учетом дегидратации) – формулой (20), плотность – зависимостью (21):

$$\lambda_{\text{бетон}}(T) = \begin{cases} 1.36 - 0.136\frac{T}{100} + 0.0057\left(\frac{T}{100}\right)^2, & 20^0C \le T \le 800\ ^0C, \\ 0.64,\ 800\ ^0C < T \le 1200\ ^0C, \end{cases} \quad (19)$$

$$c_{\text{бетон}}(T) = \begin{cases} 900, \le 115℃, \\ 900 + 20(T - 100), 100^0C < T \le 115^0C, \\ 1000 - 0.5(T - 115), 115^0 < T \le 200^0C, \\ 950 + 0.25(T - 200), 200℃ < 400℃, \\ \text{c}_{\text{бетон}}(\text{T}) = 1050\ > 400℃, \end{cases} \quad (20)$$

$$\rho_{\text{бетон}}(T) = \begin{cases} 2400\left[1 - 0.0004\frac{T-20}{100}\right], T \le 400^0C, \\ \text{линейная интерпоялция}, 400℃ < T \le 800^0C, \\ 2400 \cdot 0{,}92,\ T > 800℃. \end{cases} \quad (21)$$

То же для арматуры, кроме плотности, которая мало зависит от температуры и в данном температурном интервале составляет $\rho_{\text{сталь}}(T) \sim \rho_0 = 7850$ кг/м^3:

$$\lambda_{\text{сталь}}(T) = \begin{cases} 54 - 0.0333T,\ 20℃ \le T \le 800℃, \\ 27.3, \qquad\qquad 800℃ \le T \le 1200℃\,. \end{cases} \quad (22)$$

$$c_{\text{сталь}}(T) = \begin{cases} 450 + 0.28T, & T \le 600^0C, \\ 630, & 600^0C < T \le 735^0C, \\ 545, & 735℃ < T \le 900℃, \\ 650, & > 900℃. \end{cases} \quad (23)$$

Теплотехнические свойства для теплозащитного покрытия определятся зависимостями:

$$\lambda_{\text{огнезащита}}(T) = \begin{cases} 0.35 + 0.0002T, & T \le 600℃, \\ 0.47 + 0.0001(T - 600), & 600℃ < T \le 1000℃\,, \\ 0.51, & T > 1000, \end{cases} \quad (24)$$

$$c_{\text{огнезащита}}(T) = 900 + 0.2T, \text{ (до 800ºС)}, \quad (25)$$

$$\rho_{\text{огнезащита}}(T) = 2000\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (26)$$

Член T^4, характеризующий излучение, делает граничные условия нелинейными. Для расчетов используем линеаризацию по Ньютону:

$$T^4 \approx 4T_{n-1}^3 T_n - 3T_{n-1}^4, \quad (27)$$

тогда линеаризованное излучение описывается зависимостью:

$$q_{\text{рад}} = \epsilon\sigma(T_n^4 - T^4) \approx \approx \epsilon\sigma(T_n^4 + 3T_{n-1}^4 - 4T_{n-1}^3 T_n). \quad (28)$$

Моделирование изменения температуры в слоях конструкции аппроксимируется методом конечных разностей. Для этого вводим сетку с общими узлами на границах слоев:

$$N = \sum_{i=1}^{M} N_i - (M-1). \quad (29)$$

тогда координата j-го узла определится как

$$x_j = \sum_{k=1}^{\text{слой}(j)-1} \delta_k + (j - j_{\text{нач.слой}})\Delta x_{\text{слой}}, \quad (30)$$

а расстояния между узлами

$$\Delta x_j = x_{j+1} - x_j, \quad (31)$$

где j = 0, 1, …, N - 2.

Дискретизация по времени в неявной схеме будет определяться согласно зависимости

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta t}, \quad (32)$$

а аппроксимация второй производной

$$\frac{\partial^2 T^{n+1}}{\partial x^2} \approx \frac{2}{\Delta x_{j-1} + \Delta x_j}\left(\frac{T_{j+1}^{n+1} - T_j^{n+1}}{\Delta x_j} - \frac{T_j^{n+1} - T_{j-1}^{n+1}}{\Delta x_{j-1}}\right). \quad (33)$$

Тогда конечно-разностное уравнение для внутреннего узла будет соответствовать

$$\rho_i c_i \frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta t} = \frac{2}{\Delta x_{j-1} + \Delta x_j}\left(\lambda_{j-\frac{1}{2}} \frac{T_{j-1}^{n+1} - T_j^{n+1}}{\Delta x_{j-1}} + \lambda_{j+\frac{1}{2}} \frac{T_{j+1}^{n+1} - T_j^{n+1}}{\Delta x_j}\right), \quad (34)$$

а теплопроводность на границе узлов будет (гармоническое среднее)

$$\lambda_{j-\frac{1}{2}} = \frac{2\lambda_j \lambda_{j+1}}{\lambda_j + \lambda_{j+1}}. \quad (35)$$

В этом случае трехдиагональная система уравнений, приведенная к стандартному виду, для каждого узла j будет иметь вид:

$$a_i T_{j-1}^{n+1} + b_j T_j^{n+1} + c_j T_{j+1}^{n+1} = d_j, \quad (36)$$

где коэффициенты для внутренних улов соответствуют зависимостям:

$$a_j = -\frac{2\lambda_{j-\frac{1}{2}}}{\Delta x_{j-1}(\Delta x_{j-1} + \Delta x_j)}, \quad (37)$$

$$b_j = \frac{\rho_j c_j}{\Delta t} - a_j - c_j, \quad (38)$$

$$c_j = -\frac{2\lambda_{j-\frac{1}{2}}}{\Delta x_j(\Delta x_{j-1} + \Delta x_j)}, \quad (39)$$

$$d_j = \frac{\rho_j c_j}{\Delta t} T_j^n. \quad (40)$$

Тогда коэффициенты для левой границы при $j = 0$ будут

$$b_0 = \frac{\rho_0 c_0}{\Delta t} + \frac{2\lambda_0}{\Delta x_0^2} - \frac{2}{\Delta x_0}(-h_1 - 4\varepsilon_1\sigma T_{n-1}^3), \quad (41)$$

$$c_0 = -\frac{2\lambda_0}{\Delta x_0^2}, \quad (42)$$

$$d_0 = \frac{\rho_0 c_0}{\Delta t} T_0^n + \frac{2}{\Delta x_0^2}[h_1 T_{n1} + \varepsilon_1\sigma(T_{n1}^4 + T_{n-1}^4)], \quad (43)$$

а для правой границы при $j = N - 1$ примут вид

$$a_{N-1} = -\frac{2\lambda_{N-1}}{\Delta x_{N-2}^2}, \quad (44)$$

$$b_{N-1} = \frac{\rho_{N-1} c_{N-1}}{\Delta t} + \frac{2\lambda_{N-1}}{\Delta x_{N-2}^2} - \frac{2}{\Delta x_{N-2}}(-h_2 - 4\varepsilon_2\sigma T_{n-1}^3), \quad (45)$$

$$d_{N-1} = \frac{\rho_{N-1} c_{N-1}}{\Delta t} T_{N-1}^n + \frac{2}{\Delta x_{N-2}}(h_2 T_{n2} + \varepsilon_2\sigma(T_{n2}^4 + 3T_{n-1}^4). \quad (46)$$

Используя метод прогонки (алгоритм Томаса [15]), решаем систему линейных алгебраических уравнений с учетом зависимости свойств от температуры и линеаризации граничных условий.

Результаты и обсуждения

На основе предложенных конечно-разностных моделей осуществлен кибернетический эксперимент для монолитной конструкции толщиной 220 мм и арматурой диаметром 10 мм. Защитный слой бетона принят 20 мм, огнезащитное покрытие также 20 мм. Предполагалось, что пожар развивается по стандартной схеме, где на первом этапе основной теплообмен протекает конвекционно, а на более поздних этапах возрастает роль излучения. При этом температура среды достигает 1000ºС к концу второго часа пожара (рис. 1).

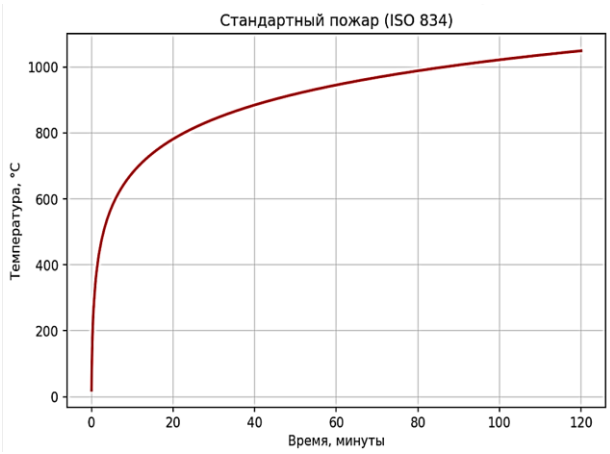


Рис. 1

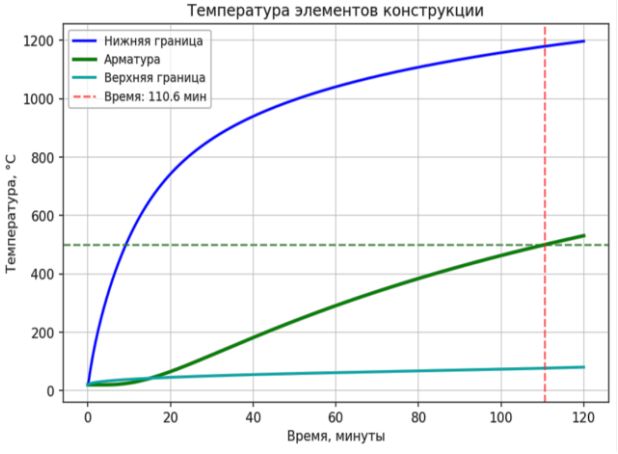


Рис. 2

Изменение температуры на поверхностях конструкции соответствует теоретическому распределению для многослойной конструкции при нестационарном теплообмене (рис. 2). Прогрев арматуры внутри конструкции до достижения критического значения в 500ºС происходит практически линейно и предсказуемо при оценке толщины огнезащитного слоя.

Для сравнения в модель добавлены данные для конструкции без огнезащитного покрытия, но с защитным слоем арматуры 40 мм. Результаты представлены на рис. 3…5.

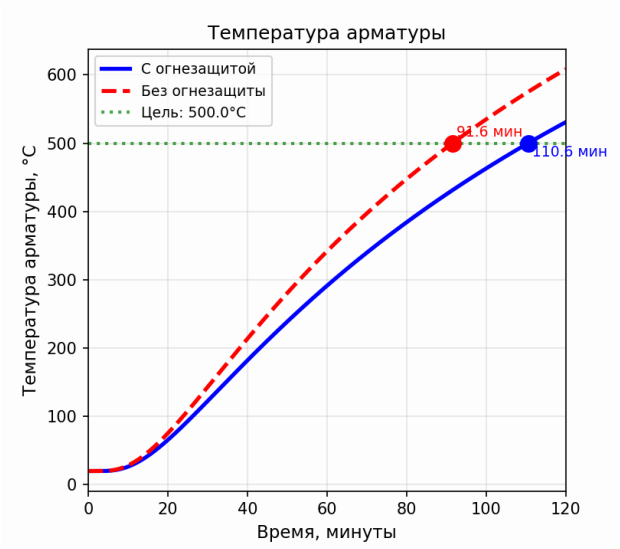


Рис. 3

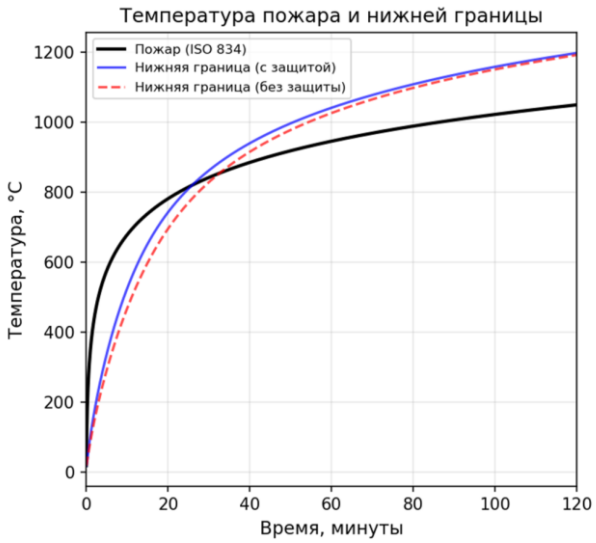


Рис. 4

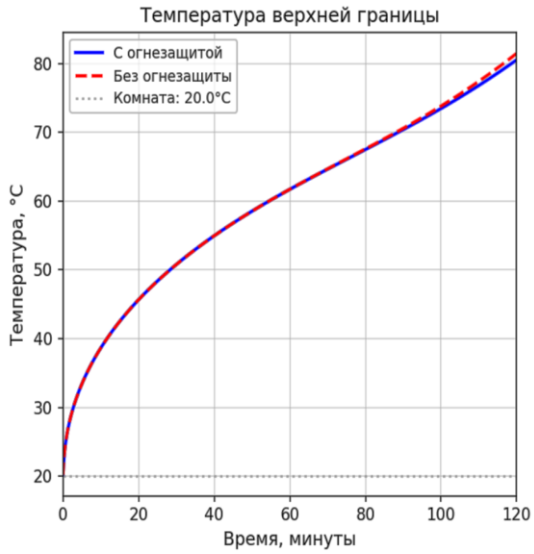


Рис. 5

Как следует из графика модели, температура арматуры растет быстрее и достигает критического значения уже на 91,6 минуты, что меньше, чем время огнестойкости конструкции с защитой, на 19 минут, т. е. на 17,2 %. Температуры верхней и нижней границы защищенной конструкции и без защиты практически идентичные (рис. 4, 5). Небольшая разница в динамике набора температуры поверхности нижней границы обусловлена различными теплотехническими свойствами огнезащитного материала и бетона.

Результаты моделирования с учетом изменений температурозависимых свойств материалов позволяют установить, что изменение плотности, а следовательно, теплоемкости и теплопроводности в результате дегидратации, декарбонизации, спекания приводит к серьезным изменениям в результатах моделирования. График изменения температуры арматуры (рис. 6…8) как с защитой, так и без показывает, что в результате изменения теплотехнических свойств материалов при прогреве разогрев значительно интенсифицировался. Критическая температура наступает уже на 64 минуте с огнезащитой и на 53 минуте без, т. е. огнестойкость конструкции по результату моделирования снизилась почти в два раза и эффективность огнезащиты показала снижение почти в два раза – до 11 минут, хотя относительные показатели остались почти неизменными – 17,1%. При этом характер прогрева нижней и верхней границы практически не изменился, хотя верхняя граница при учете температурозависимых свойств прогревается несколько интенсивней, что требует учета при расчете рисков развития пожара в вышележащих помещениях.

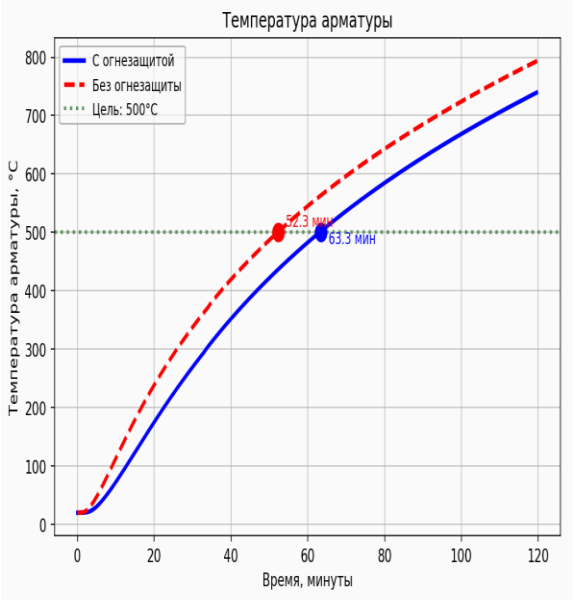


Рис. 6

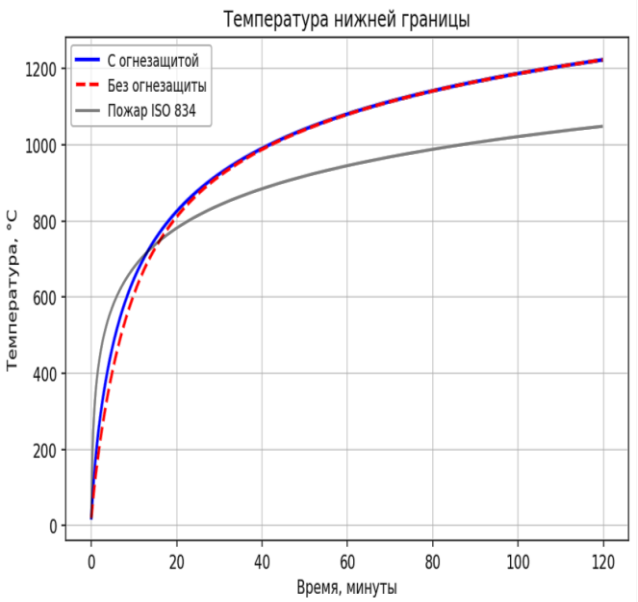


Рис. 7

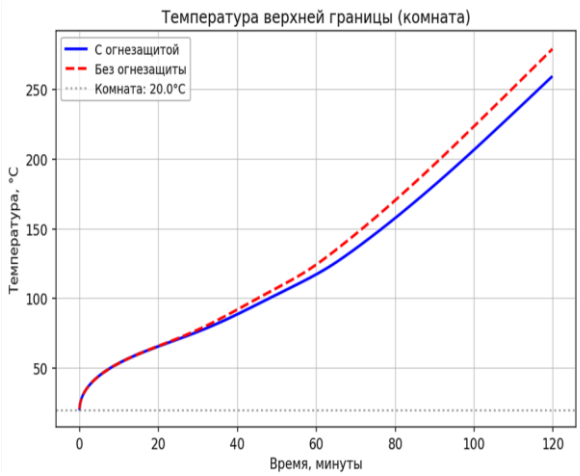


Рис. 8

Заключение

Практика расчета толщины огнезащитных покрытий, исходящая из представлений о неизменности теплотехнических свойств материала или учитывающая изменение теплопроводности только защитного покрытия, например при применении вспучивающихся материалов, без учета изменения свойств материала защищаемой конструкции, может привести к серьезной ошибке при проектировании. Как показало моделирование, изменение плотностных и теплотехнических характеристик всех материалов системы *огнезащитное покрытие – материалы конструкции* приводит к интегральному изменению огнестойкости конструкции, в данном примере в сторону ухудшения в два раза. Учет теплозависимых свойств всех материалов системы и их поведения при пожаре позволяет устранить катастрофические последствия пожара, вызванные недооценкой фактора изменения характеристик огнестойкости конструкции, и дает возможность более точно рассчитывать параметры огнезащиты, что особенно важно в сложных системах.

Статистическую эффективность и чувствительность модели предстоит оценить путем проведения дополнительных натурных испытаний и сравнения их результатов с данными модели. Однако предварительно проведенные на малой выборке корреляционный и дисперсионные анализы позволяют утверждать, что на заданном временном интервале при стандартном развитии пожара модель адекватно воспроизводит температурные поля в теле железобетона с различной толщиной покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сизова Ю.В., Погудин Д.В.* Анализ производственной безопасности на участке путем идентификации опасных и вредных производственных факторов // Модели и методы повышения эффективности инновационных исследований. Уфа, 2024. С. 31…33.

2. *Попов В.М.* Взаимосвязь различных аспектов деятельности по обеспечению безопасности производства // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1. С. 36…39.

3. *Ширшова А.С., Вдовенко Т.А.* Совершенствование способов обеспечения безопасности производства // Техногенная и природная безопасность. Саратов, 2021. С. 414…417.

4. *Салихова А.Х., Циркина О.Г., Сырбу С.А. и др.* Разработка способа огнезащиты технических тканей смешанного волокнистого состава // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 3 (56). С. 40…52.

5. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Никифоров А.Л., Ульева С.Н.* К вопросу применения огнезащитных составов, наносимых на тканые материалы, и повышения пожарной безопасности объектов текстильной промышленности // Проблемы техносферной безопасности. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 23…29.

6. *Шевченко И.К., Развадовская Ю.В., Марченко А.А.* Текстильная промышленность в России: история и современность // Terra Economicus. 2019. №17(1). С. 131…149.

7. *Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф.* Определение частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности в зависимости от площади здания // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2022. № 3. С. 34…41.

8. *Полетаев А.Н., Гончаренко В.С., Журавлев Ю.Ю. и др.* Статистические данные по частотам возникновения пожаров на различных производственных и складских объектах в РФ. Пожаровзрывобезопасность // Fire and Explosion Safety. 2025;34(4):42-61.

9. *Романова О.С., Титов В.А., Баусов А.М.* Оценка эффективности мероприятий в сфере пожарной безопасности на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 2 (416). С. 268…275.

10. *Циркина О.Г., Спиридонова В.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А.* К вопросу обеспечения пожарной безопасности предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 177…182.

11. *Гергишан С.В., Овчинников А.А., Ходова И.А.* Моделирование процесса прогрева строительной

конструкции с защитным огнестойким покрытием // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6. № 1. С. 21…30.

12. *Алоян Р.М., Федосов С.В., Мизонов В.Е.* Теоретические основы математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. Иваново: ИГЭУ, 2011. 256 с.

13. *Федосов С.В., Баканов М.О., Александрова О.В. и др.* Комплексное математическое моделирование в управлении физико-химическими процессами при транспортировке бетонной смеси // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6, вып. 4. С. 23…42. – URL: https://comincon.ru/ru/nauka /issue/6779/view.

14. *Биби Э.В., Нараянан Р.С.* Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций: руководство для проектировщиков к EN 1992-1-1 и EN 1992-1-2. Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Общие правила и правила для зданий. Противопожарное проектирование строительных конструкций: [пер. с англ.]. 2-е изд. М.: МГСУ, 2013. 292 с.

15. *Головашкин Д.Л.* Параллельные алгоритмы решения сеточных уравнений трехдиагонального вида, основанные на методе встречных прогонок // Математическое моделирование. 2005. Т. 17. № 11. С. 118…128.

R E F E R E N C E S

1. *Sizova Yu.V., Pogudin D.V.* Analysis of production safety at the site by identifying hazardous and harmful production factors // Models and Methods of Increasing the Efficiency of Innovative Research. Ufa, 2024. Pp. 31…33.

2. *Popov V.M.* The Interrelationship of Various Aspects of Industrial Safety Activities // Occupational Safety in Industry. No. 1 2010. pp. 36…39.

3. *Shirshova A.S., Vdovenko T.A.* Improving Industrial Safety Methods // Technogenic and Natural Safety. Saratov, 2021. pp. 414…417.

4. *Salikhova A.Kh., Tsirkina O.G., Syrbu S.A. etc.* Development of a method for fire protection of technical fabrics of mixed fiber composition // Modern problems of civil defense. 2025. No. 3 (56). P. 40…52.

5. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Nikiforov A.L., Ulieva S.N.* On the issue of the use of fire retardant compounds applied to woven materials and improving the fire safety of textile industry facilities // Problems of technosphere safety. Moscow, 2020. P. 23…29.

6. *Shevchenko I.K., Razvadovskaya Yu.V., Marchenko A.A.* Textile industry in Russia: history and modernity // Terra Economicus. 2019. No. 17(1). Pp. 131…149.

7. *Merkulov A.P., Kozhevin D.F.* Determination of the frequency of fire occurrence in buildings of different classes of functional fire hazard depending on the building area // Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2022. No. 3. Pp. 34…41.

8. *Poletaev A.N., Goncharenko V.S., Zhuravlev Yu.Yu. etc.* Statistical data on the frequency of fire occurrence at various industrial and warehouse facilities in the Russian Federation. Fire and Explosion Safety. 2025;34(4):42-61.

9. *Romanova O.S., Titov V.A., Bausov A.M.* Assessment of the effectiveness of fire safety measures at textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. No. 2 (416). P. 268…275.

10. *Tsirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.Kh., Syrbu S.A.* On the issue of ensuring fire safety of enterprises textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). P. 177…182.

11. *Gergishan S.V., Ovchinnikov A.A., Khodova I.A.* Modeling the heating process of a building structure with a protective fire-resistant coating // Smart composites in construction. 2025. Vol. 6. No. 1. Pp. 21…30.

12. *Aloyan R.M., Fedosov S.V., Mizonov V.E.* Theoretical foundations of mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the production of building materials. Ivanovo: ISPU, 2011. 256 p.

13. *Fedosov S.V., Bakanov M.O., Aleksandrova O.V. etc.* Integrated mathematical modeling in the control of physical and chemical processes during transportation of concrete mix // Smart composites in construction. 2025. Vol. 6, issue 4. Pp. 23…42. – URL: https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6779/view.

14. *Bibi E.V., Narayanan R.S.* Designers' Guide to Eurocode 2: Design of Reinforced Concrete Structures: designers' guide to EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2. Eurocode 2: Design of Reinforced Concrete Structures. General Rules and Rules for Buildings. Fire Design of Building Structures: Translated from English. 2nd ed. Moscow: MGSU, 2013. 292 p.

15. *Golovashkin D.L.* Parallel algorithms for solving tridiagonal grid equations based on the counter sweep method // Mathematical modeling. 2005. Vol. 17. No. 11. Pp. 118…128.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 18.06.26.

УДК 687.02
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_288

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРА ПРОМПТ-ШАБЛОНА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

DEVELOPMENT OF A PROMPT TEMPLATE CONSTRUCTOR FOR CONTROLLED CLOTHING IMAGE GENERATION IN INDUSTRIAL PRODUCTION

Н.А.САХАРОВА[1], Д.А. СМИРНОВ[1], С.Г. ЕЗЕРСКАЯ[2]

N.A. SAKHAROVA[1], D.A. SMIRNOV[1], S.G. EZERSKAYA[2]

**([1]Ивановский государственный политехнический университет,
[2]Ивановский государственный университет)**

**([1]Ivanovo State Polytechnical University,
[2]Ivanovo State University)**

E-mail: nata1_77@bk.ru, d-smirnov@mail.ru, ezerskaya-sg.16@yandex.ru

В статье представлен процесс трансформации неструктурированных образно-эмоциональных концепций (vibe) в формализованное техническое задание (ТЗ) для проектирования одежды с использованием генеративных нейросетей. Целью исследования определена разработка конструктора промпт-шаблона на основе методологии vibe coding для алгоритмизации перехода от неструктурированных требований заказчика к параметризованному запросу для генеративных ИИ-систем. Актуальность работы обусловлена тем, что на начальном этапе разработки время затрачивается на поиск концепции, источника вдохновения, а также на перевод запросов потребителей либо заказчиков-производителей в формат ТЗ, что увеличивает временные и материальные затраты. В работе применены методы системного анализа, структурированного промптинга (vibe coding), экспертного оценивания и экспериментальной апробации, а также технико-экономическое сравнение эффективности традиционного и нового процессов дизайн-проектирования. Разработана четырехуровневая архитектура промпт-шаблона (P0–P3), реализованная в виде интерактивного HTML-конструктора. Для верификации эффективности предложенного подхода проведен эксперимент с участием 40 экспертов швейной отрасли, оценивавших изображения, сгенерированные восемью различными ИИ-платформами (Midjourney, Kandinsky 3.1, Style3D AI и др.) по 11 критериям. Экспериментально подтверждено, что использование разработанного конструктора позволяет сократить время предпроектного этапа с 13–35 до 1–2 рабочих дней. Доказана управляемость и воспроизводимость генерации: во всех тестируемых ИИ-системах корректно интерпретировались ключевые параметры ТЗ (ассортимент, силуэт, цвет). Style3D AI показал наивысшие оценки по критерию "промышленная реализуемость" (5,0), а Midjourney – по "реалистичности" (4,9). Общий уровень доверия экспертов к сгенерированным изображениям составил 3,80, что подтверждает их приемлемость для этапа эскизирования. Практическая ценность исследования заключается в обеспечении воспроизводимости результатов генерации, формализации требований и интеграции ИИ инструментов в технологический процесс швейного производства без дополнительных адаптаций.

This paper presents the process of transforming unstructured image-emotional concepts (vibe) into a formalized technical specification (TS) for clothing design using generative neural networks. The study aims to develop a prompt template constructor based on the vibe coding methodology to algorithmize the transition from unstructured client requirements to a parameterized query for generative AI systems. The relevance of this work stems from the significant time spent during the initial design phase on searching for a concept/source of inspiration and translating consumer or manufacturer requests into a TS format, which increases both time and material costs. The research employs methods of systems analysis, structured prompting (vibe coding), expert evaluation, experimental validation, and a techno-economic comparison of the efficiency of traditional versus proposed design processes. A four-level prompt template architecture (P0–P3) was developed and implemented as an interactive HTML constructor. To verify the effectiveness of the proposed approach, an experiment was conducted involving 40 fashion industry experts who evaluated images generated by eight different AI platforms (including Midjourney, Kandinsky 3.1, and Style3D AI) based on 11 criteria. The findings experimentally confirm that using the developed constructor reduces the pre-design phase from 13–35 days to just 1–2 working days. The controllability and reproducibility of generation were proven: all tested AI systems correctly interpreted key TS parameters (assortment, silhouette, color). Style3D AI received the highest scores for the criterion of "industrial feasibility" (5.0), while Midjourney led in "realism" (4.9). The overall expert trust level in the generated images was 3.80, confirming their acceptability for the sketching stage. The practical value of this research lies in ensuring the reproducibility of generation results, formalizing requirements, and integrating AI tools into the technological workflow of garment production without the need for additional adaptations.

Ключевые слова: искусственный интеллект, индустрия моды, промпт, вайб кодинг, генерация, одежда.

Keywords: artificial intelligence, fashion industry, prompt, vibe coding, generation, clothing.

Введение

Проектирование одежды относится к задачам, где креативные решения должны быть согласованы с технологическими, конструктивными и организационными ограничениями в швейном производстве. На начальном этапе работы над промышленной коллекцией одежды специалисты испытывают затруднения с формулировкой исходной проектной задачи. Требуется определить концепцию и перевести ее в профессиональные термины в отношении внешнего вида, ассортимента, конструкции, материалов, методов обработки и при этом учесть требования целевой аудитории, заказчиков и нормативной документации.

Исходный замысел на разработку существует в виде разрозненных референсов и вербальных описаний. Но этого недостаточно для формулирования четкого технического задания (ТЗ), понятного всем членам продуктовой команды – дизайнеру, конструктору, технологу, байеру, продакт-менеджеру и др. При традиционном подходе перевод неструктурированного брифа в финальный эскиз осуществляется через многоэтапный итерационный процесс, приведенный на рис. 1.

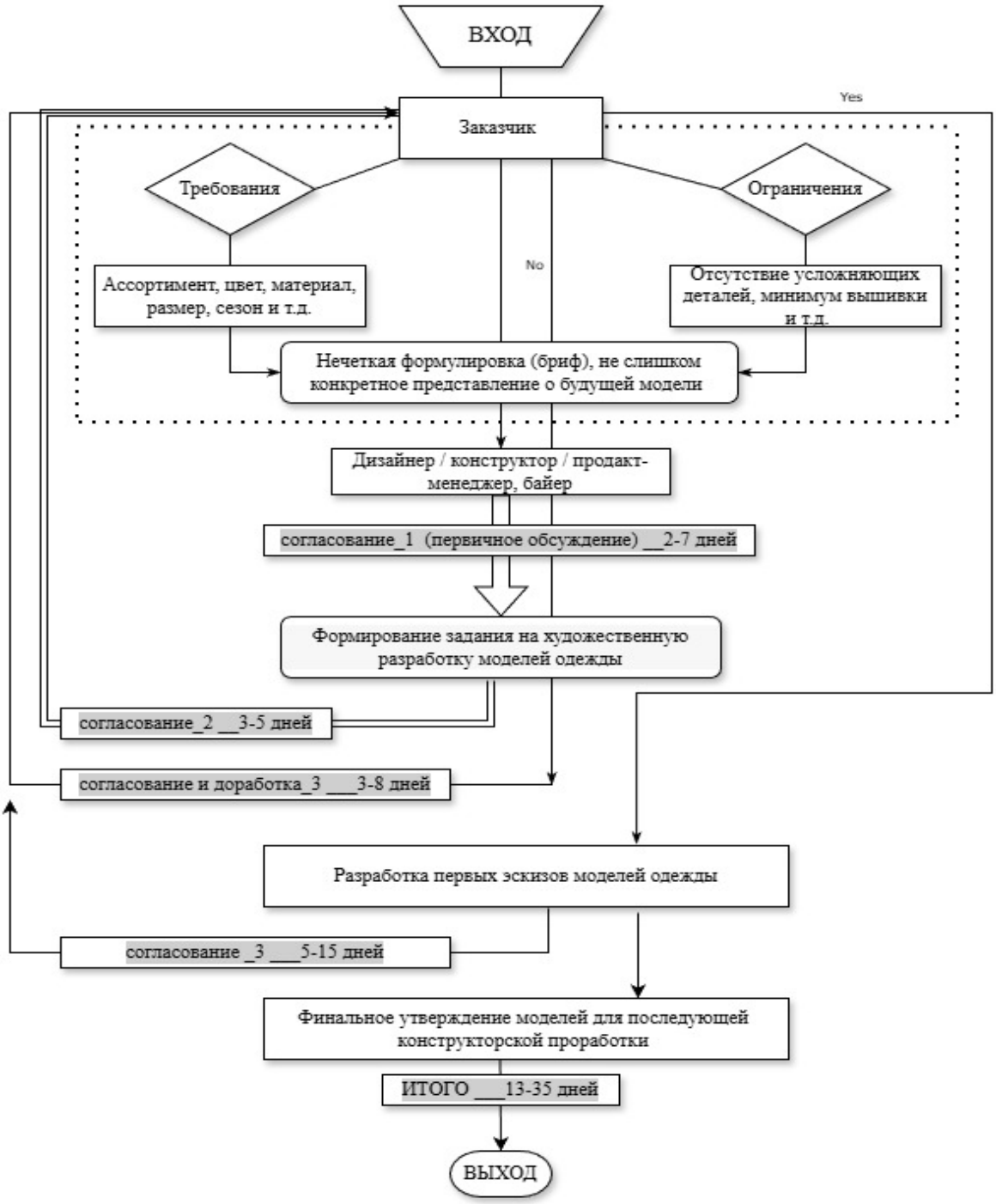


Рис. 1

Как видно из рис. 1, первичное обсуждение по выбору ассортимента, объемно-пространственной формы будущих моделей одежды, материалов, цветовых и других характеристик занимает от 2 до 7 дней. Заказчик предоставляет свой набор неструктурированных требований, которые специалист "упаковывает" в ТЗ на разработку и снова согласовывает с заказчиком. Если заказчик утверждает ТЗ, то переходят к разработке первичных художественных образов моделей, если нет, то требуется еще время от 3 до 5 дней на повторное рассмотрение и согласование. Дизайнер, интерпретируя сформированные пожелания, создает эскизы, что занимает 3–8 дней. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) позволяют сократить временные затраты на создание визуальных концепций на 50…70% [1, 2]. Однако на практике при неуправляемым при-

менении ИИ без структурированного подхода к формированию промптов (запросов на генерацию) этот показатель снижается до 20…40% из-за необходимости многократных повторных генераций и ручного отбора моделей из большого массива [3…5]. В результате из-за нечеткости исходных требований и большого количества генеративных моделей значительная часть предложенных вариантов не соответствует ожиданиям заказчика. Это приводит к необходимости повторных согласований и доработок, занимающих от 5 до 15 дней. Финальное утверждение моделей для последующей конструкторской проработки наступает лишь через 13–35 дней после начала работы. Столь длительный цикл обусловлен не только субъективностью оценок, но и отсутствием единого инструмента, который позволял бы формализовать требования на раннем этапе и сократить количество итераций [6].

Существующие подходы к генерации изображений одежды с помощью ИИ применяются фрагментарно, без интеграции в технологический процесс. Это не позволяет обеспечить воспроизводимость результатов, их соответствие производственным требованиям и контроль качества на этапе эскизирования. Промпты составляются интуитивно, что приводит к случайному характеру генерации, необходимости ручной фильтрации результатов и сохранению высоких временных затрат на согласование [7…10].

Актуальность разработки структурированного подхода к формированию промптов подтверждается исследованиями, указывающими на влияние архитектуры запроса на качество и соответствие результата. Предлагаются разные варианты формулировок запросов [11, 12]:

- ZS (zero-shot) – один прямой запрос без примеров;

- FS (few-shot) – запрос + несколько примеров, например, референсов одежды, чтобы ИИ "понял, как надо создать";

- CoT (chain-of-thought) – запрос в несколько шагов (сначала уточняют детали, например, форму, силуэт, цвет, текстуру, потом собирают итоговое описание);

- RAG – запрос + "подсказка-контекст" (фрагменты информации из источников, ссылки), чтобы ИИ опирался на них.

Однако ZS/FS/CoT/RAG улучшают результаты, но не решают задачу по управляемости и верификации результатов генерации.

В работе предлагается подход, основанный на разработке конструктора промпт-шаблонов с использованием вайб-кодинга (рис. 2) [13…15, 21, 24].

Как видно из рис. 2, предлагаемый подход обеспечивает качественное преобразование процесса проектирования. Вместо последовательных итеративных согласований, требующих 13–35 дней, вводится единый инструмент – конструктор промптов, в котором все участники проекта (заказчик, дизайнер, конструктор, продакт-менеджер, байер) работают на одном интерфейсе. Совместное заполнение структурированной интерактивной формы, включающей все ключевые параметры (ассортимент, материалы, цвет, силуэт, целевая аудитория, ограничения), занимает 30–60 минут.

На основе введенных данных система автоматически формирует:

1) детализированный текстовый промпт, готовый к использованию в генеративных ИИ-системах;

2) JSON файл со структурированным техническим заданием, пригодным для передачи в конструкторский и технологический отделы.

Затем осуществляется управляемая генерация моделей одежды по структурированному промпту, что занимает 2–5 часов. Этап финального выбора, каталогизации и утверждения моделей сокращается до 2–3 часов. Таким образом, общее время от формулировки требований до утвержденных эскизов сокращается до 1–2 рабочих дней, что в 13–17 раз быстрее традиционного подхода.

Практическая ценность исследования заключается не только в значительном сокращении времени на формализацию требований заказчика, но и в обеспечении управляемой, воспроизводимой генерации изображений.

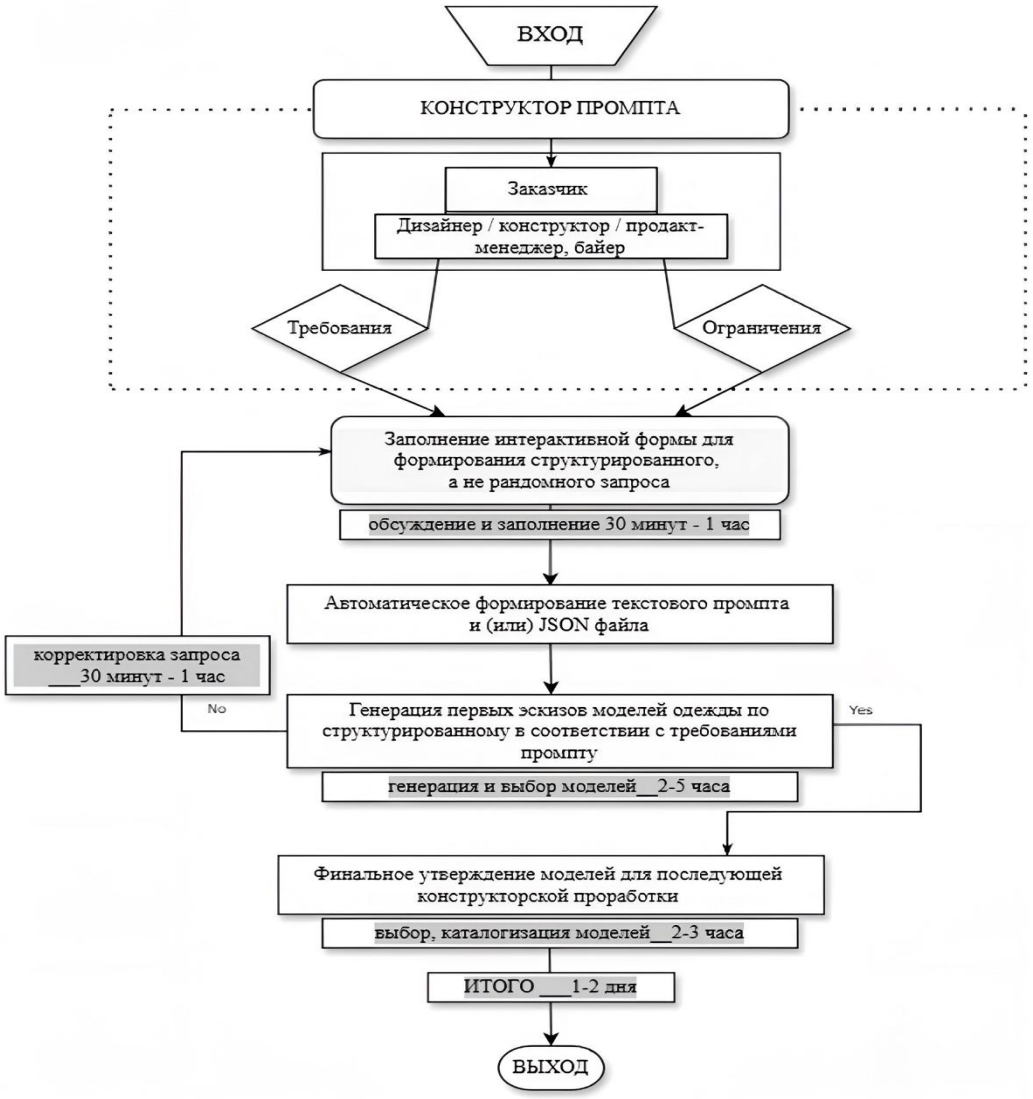


Рис. 2

Объект исследований – модель промпт-шаблона, реализованная в виде интерактивного веб-конструктора, обеспечивающего перевод неформализованного брифа в параметризованное ТЗ и готовый запрос для генеративных ИИ-систем.

Методы исследований

Использованы:

1) метод структурированного промптинга для алгоритмизации перевода неструктурированного брифа в систему формализованных требований – vibe coding;

2) технологии ИИ на базе нейросетей:

- DeepSeek, Perplexity – для разработки конструктора промпт-шаблона;

- ChatGPT 4, Qwen3.5-Plus, Kimi K2.5, GigaChat, LeonardoAI, Kandinsky3.1, Midjourney V6, Style3DAI, Gemini 3 – для апробации промпта по генерации изображений одежды.

В соответствии с ГОСТ Р 59276-2020 "Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения" для определения степени доверия к генерируемым изображениям одежды использован экспертный метод с привлечением специалистов промышленных предприятий по производству одежды.

Архитектура конструктора промпт-шаблона

Существующие подходы к формированию промптов (ZS, FS, CoT, RAG) не обеспечивают управляемость и воспроизводимость процесса генерации моделей одежды [12, 16…18]. В промышленном проектировании необходимо перевести нечеткие по-

желания заказчика в формализованный набор параметров, понятный специалисту и системе ИИ.

В рамках настоящего исследования применены принципы vibe coding, который рассматривается как метод проектного процесса получения генеративных моделей одежды и инструмент для последовательной формализации требований [19, 20, 22, 23, 25].

Практический смысл заключается в разработке интерактивного HTML-конструктора промпт-шаблонов. Вместо длительного и неструктурированного поиска идеи для создания новой промышленной коллекции одежды можно использовать итеративный диалог с ИИ, представленный в интерактивном формате цифрового кода:

а) для генерации и ранжирования вариантов в соответствии с концепцией коллекции;

б) извлечения из референсов профессиональных признаков (силуэт, пропорции, детали, материалы и др.);

в) перевода нечетких пожеланий потребителей/заказчиков в список требований/ограничений.

Конструктор визуализирует каждый аспект задачи – от образно-эмоциональной концепции (vibe) до конкретных требований к ассортименту, материалам, целевой аудитории [16…19]. Интерфейс позволяет последовательно вводить параметры, обеспечивая полноту и точность данных, что дает возможность контролируемо генерировать изображения и формализовать переход от идеи к ТЗ.

Разработана четырехуровневая архитектура конструктора (Р0–Р3), где каждый уровень соответствует этапу уточнения информации (табл. 1).

Таблица 1

Уровень	Входные данные	Выходные данные	Реализация и ключевые блоки
Р0 Стартовый промпт (Vibe/Concept Prompt)	Vibe (ключевые слова, нарратив, негативные условия) Базовый контекст (целевая аудитория, сезон, условия эксплуатации и др.)	JSON с формализованными данными Текстовый промпт для генерации изображений	Веб-форма с блоками: 1. Идея и концепция 2. Целевая аудитория (описание, ценовой сегмент, требования) 3. Vibe (образно-эмоциональный набор, ключевые слова, нарратив) 4. Одежда (ассортимент, силуэт, материалы, цветовая палитра) 5. Визуальный результат (тип изображения, фон)
Р1 Уточняющий промпт (Requirements Elicitation Prompt)	Результаты Р0 (JSON файл) Ранжирование требований к качеству одежды	JSON файл с распределенными требованиями Текстовый промпт для передачи на Р2	Веб-интерфейс: 1. Выбор номенклатуры требований из структурированного списка 2. Автоматическое формирование JSON файла и текстового промпта
Р2 Промпт-компоновка (TS Builder Prompt)	Требования из Р1 (JSON файл)	Структурированное техническое задание (ТЗ)	Веб-скрипт, автоматически формирующий ТЗ со структурой: 1. Общие данные (название модели/коллекции, бренд, сроки, стандарты) 2. Концепция (vibe на основе данных Р0) 3. Требования к качеству (на основе данных Р1)
Р3 Итоговый промпт (Generation Prompts)	ТЗ из Р2	1. Финальный документ ТЗ (PDF/DOC) 2. Промпт-шаблон в формате JSON файла 3. Готовые текстовые промпты для ИИ-платформ	Модуль трансформации ТЗ в генеративные прототипы

Модель Р0–Р3 представляет собой когнитивную модель перевода эстетического замысла в требования и онтологический мост между эстетическими категориями и инженерно-технологическими параметрами. Конструктор позволяет управлять процес-

сом генерации промышленной коллекции и значительно сократить время на разработку (см. рис. 2).

Практическая апробация конструктора промпт-шаблона

Апробация конструктора промпт-шаблона проводилась в два этапа:

1) техническая проверка его работоспособности на различных генеративных ИИ-моделях;

2) экспертная оценка эффективности работы представителями профессионального сообщества.

На первом этапе промпт, автоматически сформированный конструктором на основе заполненных параметров, загружался в нейросети. Использовали ChatGPT, Qwen, Kimi, GigaChat, LeonardoAI, Kandinsky3.1, Midjourney, Style3DAI, Gemini. Выбор ИИ обусловлен их различной модальностью: текстовые ассистенты с возможностью создания генеративных образов (ChatGPT, Kimi), мультимодальные модели (Qwen, GigaChat), специализированные генераторы изображений (LeonardoAI, Kandinsky 3.1, Midjourney, Gemini) и профессиональные системы визуализации одежды (Style3D AI).

Для верификации эффективности предложенного конструктора промпта разработана онлайн-анкета, включающая 11 критериев оценки качества генеративных моделей одежды. Критерии охватывали как визуальные параметры (реалистичность, точность пропорций, естественность посадки, фактура материалов, детализация конструкции), так и содержательные аспекты (соответствие образу целевой аудитории, точность передачи концепции, цветопередача), а также интегральные показатели (промышленная реализуемость, естественность восприятия, общий уровень доверия).

К участию в опросе было привлечено 40 экспертов – специалистов швейной отрасли, включая дизайнеров (40%), конструкторов (25%), технологов (15%), представителей промышленных предприятий (12%) и преподавателей профильных вузов (8%).

Респондентам демонстрировались изображения моделей одежды, сгенерированные по одному промпт-шаблону в указанных нейросетях. Оценка каждого критерия проводилась по 5-балльной шкале:

1 балл – очень плохо (критические искажения, несоответствие реальности);

2 балла – плохо (заметные артефакты, серьезные неточности);

3 балла – удовлетворительно (есть погрешности, но общее соответствие);

4 балла – хорошо (незначительные отклонения, визуально правдоподобно);

5 баллов – отлично (практически неотличимо от реалистичной модели).

Результаты представлены на рис. 3.

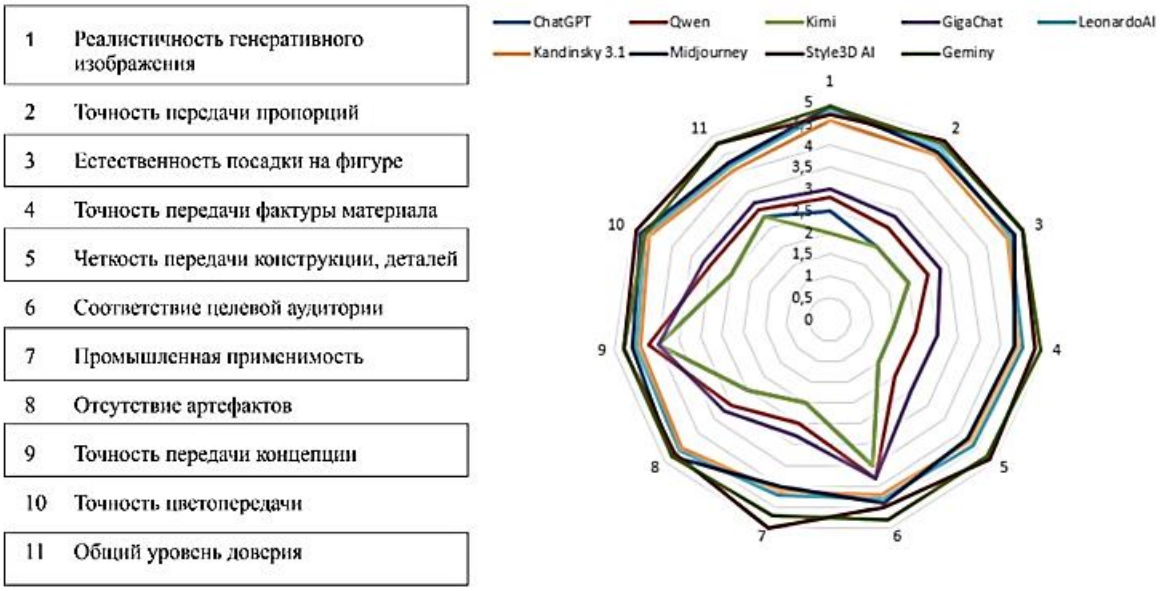


Рис. 3

Во всех генерациях подтверждена корректная интерпретация ассортимента, количества моделей, сезонности, цветовой палитры, материалов. Наиболее высокие оценки (свыше 4,5 баллов) получили параметры, связанные с точностью пропорций, соответствием концепции, естественностью посадки и промышленной реализуемостью. Это свидетельствует о корректной работе промпт-шаблона в части передачи объемно-пространственной формы, образного решения и технологичности моделей одежды. Несколько ниже оценены фактура материалов и проработка мелких деталей, что отражает современные ограничения генеративных моделей. Общий уровень доверия (3,80) находится в зоне выше среднего, при этом 58% респондентов оценили доверие на 4 и 5 баллов, что подтверждает принципиальную приемлемость для использования на этапе эскизирования.

Анализ полученных данных позволяет выделить три группы ИИ платформ. К первой группе относятся Gemini и Style3D AI, получившие максимальные оценки по критериям промышленной реализуемости (5,0), точности пропорций (4,9), детализации конструкции (4,9) и общему доверию (4,8). Это объясняется тем, что Style3D AI является дополнением к профессиональному программному обеспечению Style3D, ориентированному на процесс трехмерного проектирования одежды, и изначально адаптирована под задачи швейного производства. Gemini, в свою очередь, демонстрирует наилучший баланс между визуальным качеством и пониманием контекста, что делает его эффективным инструментом на стыке текстовой и визуальной генерации. Вторую группу составляют Midjourney – лидер по реалистичности (4,9), LeonardoAI и Kandinsky 3.1, демонстрирующие стабильно высокие результаты по всем визуальным критериям (4,2–4,8). Третья группа включает текстовые и мультимодальные модели (ChatGPT, Qwen, Kimi, GigaChat), которые, несмотря на низкие визуальные оценки, эффективны на этапе формулирования и уточнения промпта в структуре конструктора.

Таким образом, подтверждается работоспособность генерируемого конструктором промпт-шаблона, его пригодность для работы с различными генеративными моделями без дополнительной адаптации и возможность управления результатами генерации.

Экономическая эффективность от применения конструктора промпт-шаблона

Экономический эффект от использования разработанного конструктора промптов и повышения качества взаимодействия участников проекта заключается в значительной экономии трудовых затрат, а также сокращении длительности цикла работ, в том числе времени на коммуникации, уточнения и согласования, ускорении запуска производства и снижении срока оборачиваемости вложенных средств [26, 27].

При этом необходимо заранее учитывать потенциальную вероятность возникновения ряда рисков (творческие, технико-технологические, производственные, организационные, этические, юридические), связанных с применением нейросетей для разработки моделей швейных изделий, и прорабатывать меры для их устранения или минимизации потенциального ущерба.

В целом отметим, что возможный экономический эффект от применения конструктора промптов характеризуется существенными положительными значениями и формируется из следующих составляющих:

- сокращение в несколько раз времени на разработку моделей (экономия времени на прототипирование при сохранении необходимого уровня значений основных параметров построения моделей), что приводит к значительному сокращению длительности всего технологического процесса производства швейных изделий (не менее чем на 30%);

- снижение уровня трудоемкости процесса прототипирования (не менее чем в 10 раз), а следовательно, потребности в трудовых ресурсах и затрат на оплату труда (табл. 2 – сравнительный анализ затрат на оплату труда (без начислений) при разработке пакета из 8 моделей в расчете на усредненную предлагаемую заработную плату

дизайнера-модельера по вакансиям на hh.ru по Ивановской области: 90 000 руб./мес. (февраль 2026 г.));

- повышение точности генерирования художественных образов моделей и снижение ошибок (охват необходимого перечня наиболее значимых параметров при составлении промпта), что сокращает количество этапов доработки;

- возможность интеграции с другими системами (удобство и простота применения и последующей загрузки в выбранную нейросеть даже при использовании бесплатных тарифов, что не требует дополнительных затрат и значительных вложений в повышение квалификации сотрудника);

- снижение сроков оборачиваемости вложенных средств не менее чем на 30%.

Таблица 2

До внедрения конструктора промптов (см. рис. 1)			После внедрения конструктора промтов (см. рис. 2)		
Этапы работы	Длительность этапа, рабочие дни	Итого возможные затраты на оплату труда*, руб.	Этапы работы	Длительность этапа после использования конструктора промптов, рабочие часы	Итого возможные затраты на оплату труда**, руб.
Согласование-1 (первичное обсуждение)	2...7	8 180...28 630	Обсуждение и заполнение	0,5...1	256...511
Согласование-2 (первичное обсуждение)	3...5	12 270...20 450	Корректировка запроса	0,5...1	256...511
Согласование и доработка-3	3...8	12 270...32 720	Генерация и выбор моделей	2...5	1022...2 555
Согласование-3	5...15	20 450...61 350	Выбор, каталогизация моделей	2...3	1022...1 533
Итого	13...35	53 170...143 150	Итого	6...10 (или 1...2 рабочих дня с учетом оплачиваемых внутрисменных перерывов)	4 090...8 180 в расчете на 1...2 рабочих дня (с учетом оплачиваемых внутрисменных перерывов)

*Стоимость 1 дня работ = 90 000 / 22 рабочих дня (с учетом средней длительности месяца и количества выходных) = 4 090 руб./день.

**Стоимость 1 часа работ (при 8-часовом рабочем дне) = 4 090/8 = 511 руб./ч.

Проведенный сравнительный анализ затрат на оплату труда при традиционном подходе и с использованием разработанного конструктора промпт-шаблона (см. табл. 2) позволяет сделать следующие выводы:

- при традиционном подходе цикл согласования и разработки первичных эскизов занимает от 13 до 35 дней. Внедрение конструктора промптов сокращает этот этап до 1–2 рабочих дней (7,5–13 часов), что обеспечивает сокращение временных затрат в 13–17 раз;

- затраты на оплату труда (без учета начислений) на этапе предпроектной подготовки снижаются с 53–143 тыс. руб. до 4–8 тыс. руб. в расчете на 8 моделей или до 0,5–1 тыс. руб. в расчете на 1 модель, что позволяет получить экономию в 6–17 тыс. руб. по оплате труда в расчете на 1 модель;

- за счет формализации требований в едином интерфейсе конструктора исключаются повторные циклы согласования (Согласование-2 и Согласование-3 в традиционной схеме), что дополнительно снижает нагрузку на участников проекта и ускоряет принятие решений;

- при среднем объеме разработки 50–100 моделей в год для предприятия среднего масштаба годовая экономия по оплате труда только на этапе предпроектной подготовки может составить от 0,3 до 1,7 млн руб. без учета дополнительных эффектов от ускорения вывода продукции на рынок и оптимизации использования ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Разработана четырехуровневая модель (Р0–Р3) как полноценный алгоритм, предназначенный для перевода vibe в ТЗ и ИИ-прототипы одежды.

2. Данный подход повышает управляемость результатов благодаря формализации требований и их прямому переносу в промпты для генерации моделей одежды на базе ИИ.

3. Модель служит основой для экспертной системы, объединяющей творческий поиск и технологические требования.

4. Определены составляющие экономического эффекта от применения конструктора промптов в практической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mitchell J., Shaaban Y.* Position: Vibe Coding Needs Vibe Reasoning: Improving Vibe Coding with Formal Verification // In Proceedings of the 1st ACM SIGPLAN International Workshop on Language Models and Programming Languages (LMPL'25). Singapore. 2025. P. 7. – DOI: 10.48550/arXiv.2511.00202

2. *Ranjan Sapkota, Konstantinos I. Roumeliotis, Manoj Karkee.* Vibe Coding vs. Agentic Coding: Fundamentals and Practical Implications of Agentic AI. https://arxiv.org/abs/2505.19443.DOI: 10.48550/arXiv.2505.19443

3. *Chow M. and Ng O.* From technology adopters to creators: Leveraging ai-assisted vibe coding to transform clinical teaching and learning // Medical Teacher. 2025. P. 1…3.

4. *Liskavets B., Ushakov M., Roy S. etc.* Prompt compression with context-aware sentence encoding for fast and improved llm inference // In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2025. Vol. 39, P. 24595…24604.

5. *Mesk´o B.* Prompt engineering as an important emerging skill for medical professionals: tutorial // Journal of medical Internet research. 2023. Vol. 25, p. 50638.

6. *Jin Y., Yoon J., Self J. & Lee K.* Understanding Fashion Designers' Behavior Using Generative AI for Early-Stage Concept Ideation and Revision // Archives of Design Research. 2024. 37(3), P. 25…45. – DOI:10.15187/adr.2024.07.37.3.25.

7. *Deng H., Jiang J., Yu Z. etc.* CrossGAI: A Cross-Device Generative AI Framework for Collaborative Fashion Design // Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2024. 8(1), 1…27.

8. *Ibrahim I.M. Manhrawy, Amr Mohmed Soliman, Arar Al Tawil etc.* Text-to-image fashion design generation using stable diffusion: A comprehensive framework for AI-assisted creative workflows // International Journal of Data and Network Science. 2026. V. 10. N. 1. P. 387…396.

9. *Кузьмичев В.Е., Сахарова Н.А*. Алгоритм оценки доверия к изображениям нейронных сетей: человеческие фигуры // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. №3(417). С. 300…309. – DOI: 10.47367/0021-3497_2025_3_300

10. *Кузьмичев В.Е., Jia Shuang, Yin Zhiduan.* Применение искусственного интеллекта в индустрии моды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. №3(417). С. 66…78. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_66

11. *Woojin Choi1, Seyoon Jang, Ha Youn Kim etc.* Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers // Fashion and Textiles. 2023.

12. *Harsh, Bharat, Ranjan R., Walia N.K. etc.* Fashion Forward with AI Creations using GAN. 2024 Sixth International Conference on Computational Intelligence and Communication Technologies (CCICT), Sonepat, India. 2024. P. 395…402. – DOI: 10.1109/CCICT62777.2024.00071.

13. *Dhiwar K.* Artificial Intelligence and Machine Learning in Fashion: Reshaping Design, Production, Consumer Experience and Sustainability, 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS), Manama, Bahrain. 2024. P. 1766…1775. – DOI: 10.1109/ICETSIS61505.2024.10459436

14. *Li J., Hou Y., Lin L. etc.* Vibe Coding for UX Design: Understanding UX Professionals' Perceptions of AI-Assisted Design and Development // arXiv:2509.10652v1. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10652

15. *Fawzy A., Tahir A., Blincoe K.* Vibe Coding in Practice: Motivations, Challenges, and a Future Outlook -- a Grey Literature Review // arXiv:2510.00328v1. https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.00328

16. *Roose K.* Not a Coder? With A.I., Just Having an Idea Can Be Enough // New York Times. Feb. 27, 2025.

17. *Mimmo S.S., Roy A., Billal S.A.* Integrating Artificial Intelligence Across the Fashion Value AI Transforming Design, Production, and Consumer Experience // Applied IT & Engineering. 2025. Vol. 3 № 1. – https://doi.org/10.25163/engineering.3110210

18. *Chen X., Knearem T., Li Y.* The GenUI Study: Exploring the Design of Generative UI Tools to Support UX Practitioners and Beyond // arXiv:2501.13145v3. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.13145

19. *Khan A., Shokrizadeh A., Cheng J.* Beyond Automation: How UI/UX Designers Perceive AI as a Creative Partner in the Divergent Thinking Stages // arXiv:2501.18778v1. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.18778

20. *Lu Y., Tong Z., Qinyi Z. etc.* Flowy: Supporting UX Design Decisions Through AI-Driven Pattern Annotation in Multi-Screen User Flows // arXiv:2406.16177. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.16177

21. *Meske Ch., Hermanns T., von der Weiden E. etc.* Vibe Coding as a Reconfiguration of Intent Mediation in Software Development: Definition, Implications, and Research Agenda // arXiv:2507.21928. – https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3645466

22. *Sarkar A. Drosos I.* Vibe coding: programming through conversation with artificial intelligence // arXiv:2506.23253. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.23253

23. *Sergeyuk A., Golubev Y., Bryksin T., Ahmed I.* Using AI-based coding assistants in practice: State of affairs, perceptions, and ways forward. Information and Software Technology 178 (2025), 107610. – https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107610

24. *Tao S., Liang I., Peng C., Wang Zh., Palani S., Dow S. P.* Design Weaver: Dimensional Scaffolding for Text-to-Image Product Design // CHI '25: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – https://doi.org/10.1145/3706598.3714211

25. *Wang W.-F., Lu Ch.-T., Ponsa i Campanyà N. etc.* AIdeation: Designing a Human-AI Collaborative Ideation System for Concept Designers // Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '25). – https://doi.org/10.1145/3706598.3714148

26. *Xu X., Konnova A., Gao B. etc.* Productive vs. Reflective: How Different Ways of Integrating AI into Design Workflows Affect Cognition and Motivation // Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – https://doi.org/10.1145/3706598.3713649

27. *Мочалина Д. Р., Синева О. В.* Использование нейросетей в разработке коллекций легкой промышленности // Костюмология. 2024. Т. 9. № 2. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/01TLKL224.pdf.

REFERENCES

1. *Mitchell J., Shaaban Y.* Position: Vibe Coding Needs Vibe Reasoning: Improving Vibe Coding with Formal Verification // In Proceedings of the 1st ACM SIGPLAN International Workshop on Language Models and Programming Languages (LMPL'25)., Singapore. 2025. P. 7. – DOI: 10.48550/arXiv.2511.00202

2. *Ranjan Sapkota, Konstantinos I. Roumeliotis, Manoj Karkee.* Vibe Coding vs. Agentic Coding: Fundamentals and Practical Implications of Agentic AI. – https://arxiv.org/abs/2505.19443.DOI: 10.48550/arXiv.2505.19443

3. *M. Chow and O. Ng* From technology adopters to creators: Leveraging ai-assisted vibe coding to transform clinical teaching and learning // Medical Teacher. 2025. P. 1…3.

4. *Liskavets B., Ushakov M., Roy S. etc.* Prompt compression with context-aware sentence encoding for fast and improved llm inference // In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2025. Vol. 39, P.24595…24604.

5. *Mesk´o B.* Prompt engineering as an important emerging skill for medical professionals: tutorial // Journal of medical Internet research. 2023. Vol. 25, p.50638.

6. *Jin Y., Yoon J., Self J. & Lee K.* Understanding Fashion Designers' Behavior Using Generative AI for Early-Stage Concept Ideation and Revision // Archives of Design Research. 2024. 37(3), P. 25…45. – DOI:10.15187/adr.2024.07.37.3.25

7. *Deng H., Jiang J., Yu Z. etc.* CrossGAI: A Cross-Device Generative AI Framework for Collaborative Fashion Design / Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2024. 8(1), 1…27.

8. *Ibrahim I.M. Manhrawy, Amr Mohmed Soliman, Arar Al Tawil etc.* Text-to-image fashion design generation using stable diffusion: A comprehensive framework for AI-assisted creative workflows // International Journal of Data and Network Science. 2026. V. 10. N. 1. P. 387…396.

9. *Kuzmichev V.E., Sakharova N.A.* Algorithm for evaluating trust in neural network images: human bodies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti**.** 2025, No. 3(417), P. 300…309. – DOI: 10.47367/0021-3497_2025_3_300

10. *Kuzmichev V.E., Jia Shuang, Yin Zhiduan.* The application of artificial intelligence in fashion industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti**.** 2025, No. 3(417), P. 66…78. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_66

11. *Woojin Choi1, Seyoon Jang, Ha Youn Kim etc.* Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers // Fashion and Textiles. 2023.

12. *Harsh, Bharat, Ranjan R., Walia N.K. etc.* Fashion Forward with AI Creations using GAN. 2024 Sixth International Conference on Computational Intelligence and Communication Technologies (CCICT), Sonepat, India. 2024. P. 395…402. – DOI: 10.1109/CCICT62777.2024.00071.

13. *Dhiwar K.*Artificial Intelligence and Machine Learning in Fashion: Reshaping Design, Production, Consumer Experience and Sustainability, 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS), Manama, Bahrain. 2024. P. 1766…1775. – DOI: 10.1109/ICETSIS61505.2024.10459436

14. *Li J., Hou Y., Lin L. etc.* Vibe Coding for UX Design: Understanding UX Professionals' Perceptions of AI-Assisted Design and Development // arXiv:2509.10652v1. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10652

15. *Fawzy A., Tahir A., Blincoe K.* Vibe Coding in Practice: Motivations, Challenges, and a Future Outlook -- a Grey Literature Review// arXiv:2510.00328v1. https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.00328

16. *Roose K.* Not a Coder? With A.I., Just Having an Idea Can Be Enough // New York Times. Feb. 27, 2025.

17. *Mimmo S.S., Roy A., Billal S.A.* Integrating Artificial Intelligence Across the Fashion Value AI Transforming Design, Production, and Consumer Experience // Applied IT & Engineering. 2025. Vol. 3 № 1 – https://doi.org/10.25163/engineering.3110210

18. *Chen X., Knearem T., Li Y.* The GenUI Study: Exploring the Design of Generative UI Tools to Support UX Practitioners and Beyond // arXiv:2501.13145v3. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.13145

19. *Khan A., Shokrizadeh A., Cheng J.* Beyond Automation: How UI/UX Designers Perceive AI as a Creative Partner in the Divergent Thinking Stages // arXiv:2501.18778v1. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.18778

20. *Lu Y., Tong Z., Qinyi Z. etc.* Flowy: Supporting UX Design Decisions Through AI-Driven Pattern Annotation in Multi-Screen User Flows // arXiv:2406.16177. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.16177

21. *Meske Ch., Hermanns T., von der Weiden E. etc.* Vibe Coding as a Reconfiguration of Intent Mediation in Software Development: Definition, Implications, and Research Agenda // arXiv:2507.21928. – https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3645466

22. *Sarkar A. Drosos I.* Vibe coding: programming through conversation with artificial intelligence // arXiv:2506.23253. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.23253

23. *Sergeyuk A., Golubev Y., Bryksin T., Ahmed I.* Using AI-based coding assistants in practice: State of affairs, perceptions, and ways forward. Information and Software Technology 178 (2025), 107610 https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107610

24. *Tao S., Liang I., Peng C., Wang Zh., Palani S., Dow S. P.* Design Weaver: Dimensional Scaffolding for Text-to-Image Product Design // CHI '25: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – https://doi.org/10.1145/3706598.3714211

25. *Wang W.-F., Lu Ch.-T., Ponsa i Campanyà N. etc.* AIdeation: Designing a Human-AI Collaborative Ideation System for Concept Designers// Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ’25). – https://doi.org/10.1145/3706598.3714148

26. *Xu X., Konnova A., Gao B. etc.* Productive vs. Reflective: How Different Ways of Integrating AI into Design Workflows Affect Cognition and Motivation // Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – https://doi.org/10.1145/3706598.3713649

27. *Mochalina D.R., Sineva O.V.* Neural networks in the development of light industry collections. Journal of Clothing Science. 2024;9(2): 01TLKL224. – https://kostumologiya.ru/PDF/01TLKL224.pdf.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 11.03.2026.

УДК 66.01:614.841.41
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_300

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТКАНЕЙ В УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

ANALYSIS OF STABILITY OF FLAME-RETARDANT FABRIC TREATMENT UNDER LOW TEMPERATURE SERVICE CONDITIONS

О.Г. ЦИРКИНА[1], С.А. СЫРБУ[1,2], Е.А. ШВАРЕВ[1], А.Х. САЛИХОВА[1], А.Н. КЛУШИН[1]

O.G. TSIRKINA[1], S.A. SYRBU[1,2], E.A. SHVAREV[1], A.Kh. SALIKHOVA[1], A.N. KLUSHIN[1]

**([1]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
[2]МИРЭА – Российский технологический университет)**

**([1]Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,
[2]MIREA – Russian Technological University)**

E-mail: ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru,e_shvarev@inbox.ru, salina_77@mail.ru, gpn-obninsk@mail.ru

Активное освоение арктической зоны и разработка на этой территории газовых и нефтяных месторождений требует использования соответствующей экипировки персонала. В свою очередь, специфика нефтегазодобычи обуславливает необходимость использования специальной одежды с огнезащитной обработкой. В представленной работе приведен краткий аналитический обзор научной литературы, подтверждающий актуальность выбранного направления исследования, которое заключается в разработке и изучении поведения огнезащищенных текстильных материалов и изделий из них в условиях низких температур. В работе использованы огнезащитные составы, содержащие препарат "Пироватекс", а также "Пироватекс" в сочетании с соединениями кремния: кремнийорганической смолой и порошком диоксида кремния. Для имитации воздействия на ткань отрицательных температур использована криокамера с хладагентом в виде жидкого азота. Свойства исходных материалов, а также материалов, пропитанных растворами антипиренов, до и после обработки жидким азотом исследовали с использованием метода синхронного термического анализа. Анализ образцов осуществляли сразу после воздействия жидкого азота и спустя трое суток. В обсуждении полученных результатов дано теоретическое и экспериментальное обоснование положительного влияния кремнийорганических добавок на качество огнезащитной отделки ткани. Также отмечено, что в течение суток после извлечения из криокамеры все образцы показали значительное снижение способности к возгоранию под действием

открытого пламени. Показано, что рассмотренные огнезащитные составы, нанесенные на текстильный материал, являются морозостойкими и не теряют своих огнезащитных свойств после их экспонирования в криокамере. На основании экспериментальных данных выбран наиболее эффективный из рассмотренных огнезащитный состав для хлопкополиэфирной ткани, содержащий "Пироватекс" и кремнийорганическую смолу.

The active development of the Arctic zone and the development of gas and oil fields in this territory requires the use of appropriate personnel gear. In turn, the specifics of oil and gas production necessitate the use of special clothing with flame retardant treatment. The presented paper provides a brief analytical review of the scientific literature, confirming the relevance of the chosen research area, which is to develop and study the behavior of fire-resistant textile materials and products made from them at low temperature conditions. The work uses flame retardants containing the agent "Pyrovatex", as well as "Pyrovatex" combined with silicon compounds: organosilicon resin and silicon dioxide powder. To simulate the effect of negative temperatures on the tissue, a cryogenic chamber with a refrigerant in the form of liquid nitrogen was used. The properties of the starting materials, as well as materials impregnated with flame retardants, before and after treatment with liquid nitrogen were studied using the method of synchronous thermal analysis. The samples were analyzed immediately after exposure to liquid nitrogen and three days later. In the discussion of the results obtained, theoretical and experimental substantiation of the positive effect of organosilicon additives on the quality of flame-retardant fabric finishing is given. It was also noted that within a day after extraction from the cryogenic chamber, all samples showed a significant decrease in their ability to ignite under the influence of an open flame. It is shown that the considered flame retardants applied to textile material are frost-resistant and do not lose their flame-retardant properties after their exposure in a cryogenic chamber. Based on experimental data, the most effective flame retardant for cotton polyester fabric containing "Pyrovatex" and silicon organic resin was selected.

Ключевые слова: хлопкополиэфирная ткань, антипирен, огнезащитные свойства, кремнийсодержащие добавки, отрицательные температуры, криокамера, морозоустойчивость, тепловой эффект реакции, синхронный термический анализ.

Keywords: polyester cotton fabric, fire-retarding agent, fire resistance, silicon-containing additives, negative temperatures, cryogenic chamber, frost resistance, heat of reaction, synchronous thermal analysis.

Введение

В настоящее время высокими темпами идет освоение Арктической зоны. В связи с этим все материалы, эксплуатация которых связана с длительным воздействием на них пониженных температур, должны обладать достаточной морозостойкостью и сохранять свои физико-механические свойства. В развитии арктического материаловедения очевидны тенденции, характерные для материаловедения в целом: стремление к разработке материалов, сложных по химическому составу и строению, переход от простых к композиционным и далее к интеллектуальным материалам. Это сопровождается ростом многофункциональности материалов. Поскольку большинство арктических материалов может применяться во многих климатических зонах и в самых разных устройствах, то достижения арктиче-

ского материаловедения могут стать импульсом развития обозначенного научного направления в целом [1,2].

Сегодня во всем мире наблюдается рост спроса на углеводородное сырье. По оценке экспертов Национального нефтяного совета США (National Petroleum Council), на Арктику приходится до 25% всех неразведанных традиционных ресурсов углеводородного сырья планеты, из них только 25% месторождений располагаются на суше, а 75% – на шельфе арктических морей. Доля России в запасах углеводородов арктической зоны, по разным данным, колеблется от 52% до 73% [3]. Разработка на этой территории газовых и нефтяных месторождений требует соответствующей экипировки людей, а специфика нефтегазодобычи обуславливает необходимость использования специальной одежды с огнезащитной обработкой.

В работе [4] проведен анализ изделий, используемых или рекомендованных к использованию в условиях пониженных температур. На примере ассортимента изделий, разработанных для участников экспедиции и военных, работающих и проживающих на территории Арктики и арктического шельфа, а также для альпинистов, подробно изучены варианты технического, технологического и конструктивного решения комплектов одежды. Авторы исследования [5] рекомендуют использовать при создании одежды многослойную композицию из различных видов текстильных материалов и утеплителей. Научные исследования [6, 7] также связаны с разработкой материалов для пошива спецодежды, эксплуатация которой будет осуществляться в условиях низких температур, и изучением характеристик полученных материалов и изделий.

Таким образом, актуальность представленной работы обусловлена необходимостью разработки и исследования поведения огнезащищенных текстильных материалов и изделий из них в условиях пониженных (отрицательных) температур.

Изучению процессов горения текстильных материалов, различных по волокнистому составу, и способов их огнезащиты уделяется значительное внимание как отечественными, так и зарубежными исследователями. В работе [8] рассматривается возможность применения диметилметилфосфоната формулы $(CH_3O)_2POCH_3$, содержащего 25 % фосфора, хорошо растворимого в воде, в качестве замедлителя горения при модификации свойств полиамидного, полиэфирного и полиакрилонитрильного волокон. Авторы работы [9] представляют результаты исследования по огнезащите целлюлозных материалов композициями на основе фосфор- и азотсодержащих соединений. В работах [10…14] приводятся как теоретические аспекты и особенности процессов горения текстильных материалов, так и результаты исследования пожароопасных свойств тканей из различных видов волокон. Зарубежные исследователи [15…17] также активно занимаются поисками эффективных замедлителей горения для тканей различного волокнистого состава, что подтверждает актуальность выбранной нами тематики. В работах [18, 19] рассматриваются способы огнезащиты смесовых тканей путем пропитки различными по составу растворами антипиренов. Огнезащиту тканей технического назначения предлагается обеспечить за счет поверхностного нанесения интумесцентных составов на основе поливинилхлорида (ПВХ) [20].

Для решения исследовательских задач, касающихся поведения материалов под действием различных температур, широко используется метод термического анализа, который, в частности, позволяет выявить наличие на материале огнезащитной обработки. Помимо этого, указанный метод позволяет оценить степень термического воздействия на ткань в инертной среде и при доступе кислорода воздуха. В работах [10, 21] авторы отмечают, что термогравиметрический и дифференциальный термический анализы (ТГА и ДТА) могут быть успешно применены при изучении процессов термической и термоокислительной деструкции волокнообразующих полимеров, а также различных видов физических и химических превращений, которые сопровождаются изменениями массы вещества и тепловыми эффектами.

Целью представленной работы является анализ устойчивости текстильного материала с нанесенными на него антипирирующими составами к действию отрицательных температур, характерных для Арктики, и выбор оптимальной композиции огнезащитного состава для спецодежды, надежно предохраняющей человека от воздействия открытого пламени при одновременно сохраняющейся морозостойкости.

Объекты и методы исследования

В представленной работе использовалась целлюлозосодержащая ткань саржевого переплетения состава: хлопок 35% + полиэфир 65% с поверхностной плотностью 280 г/м^2.

Для нанесения на текстильное полотно в работе использованы огнезащитные составы, содержащие традиционно применяемый препарат "Пироватекс", а также "Пироватекс" в сочетании с соединениями кремния: кремнийорганической смолой марки RUT 3010 (далее – КОС) и порошком диоксида кремния марки "Ковелос" (далее – Ковелос). Кремнийсодержащие соединения являются перспективными добавками антипирирующих композиций, поскольку позволяют одновременно придать тканям определенную степень гидрофобности и грязеотталкивающие свойства. Качественный и количественный состав пропиточных растворов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Пропиточный состав	Компоненты и их содержание в водном растворе, г/л
Состав 1	Пироватекс – 300 CH_3COOH 10% – 5 (катализатор)
Состав 2	Пироватекс – 300 КОС – 50 CH_3COOH 10% – 5 (катализатор)
Состав 3	Пироватекс – 300 Ковелос – 10 CH_3COOH 10% – 5 (катализатор)

Для имитации воздействия отрицательных температур использовалась криокамера с хладагентом в виде жидкого азота (ГОСТ 15162-82 "Кожа искусственная и синтетическая и пленочные материалы. Методы определения морозостойкости в статических условиях"). Поддержание температуры в рабочей зоне t = - 65 ºС осуществлялось с погрешностью ± 2 °С. Образцы выдерживались в криокамере 10 мин.

Свойства исходных материалов, а также материалов, пропитанных растворами антипиренов (табл. 1), до и после обработки жидким азотом исследовали с использованием метода синхронного термического анализа. Отбор образцов осуществляли сразу после воздействия жидким азотом и спустя трое суток.

Анализ проводили в соответствии с ГОСТ Р 53293-2009 "Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа" в азотно-кислородной среде, имитирующей воздух, на термоанализаторе SDT Q600 TA Instruments (США) в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (г. Москва).

Полученные результаты и обсуждение

Проведенные нами ранее исследования качества огнезащитной обработки ткани саржевого переплетения "Контакт-250А" перечисленными в методической части составами и полученные результаты, подробно изложенные в работе [19], свидетельствуют о том, что образцы, обработанные всеми тремя составами, можно считать огнестойкими (ГОСТ Р 12.4.200-99 "Одежда специальная для защиты от тепла и огня. Метод испытаний при ограниченном распространении пламени"). При этом материалы, пропитанные растворами антипирена с добавками кремнийсодержащих соединений, показали более высокий результат по огнезащите, в частности, по отсутствию самостоятельного горения. Также для исходной ткани "Контакт-250А" и огнезащищенных образцов проведен термический анализ, который показал максимальную эффективность состава 2 – Пироватекс+КОС+уксусная кислота.

Известно, что кремнийсодержащие соединения обладают высокой термостойкостью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред и способностью образовывать защитные пленки на поверхности материа-

лов [22]. Перечисленные свойства обуславливают их перспективность при разработке огнезащитных составов. При воздействии высоких температур кремнийсодержащие покрытия в зависимости от вида нанесенного препарата начинают разлагаться с выделением различных продуктов, таких как [23]:

- гидроксилсодержащие соединения, в которых ОН–группы непосредственно связаны с атомами кремния (при нагревании происходит выделение воды);
- соединения, содержащие цепи кремний – кислород (силоксаны), нагревание которых до 200…250 °С приводит к их полному разложению на диоксид кремния, углекислый газ и воду;
- соединения, содержащие простейшие производные кремния, которые при высоких температурах разлагаются с образованием кремниевой кислоты (H_2SiO_3 или $SiO_2 \cdot nH_2O$), поликремниевых кислот и диоксида кремния;
- соединения, содержащие карбиды кремния, к которым относятся силоксикон, фиброкс, карборунд, разлагающиеся на пары кремния и твердофазный углерод только при очень высоких температурах (~ 2300 °С).

Таким образом, кремнийсодержащие вещества, внесенные в состав огнезащитной композиции, разлагаясь с выделением негорючих газов, дополнительно создают барьер из твердых продуктов, который препятствует проникновению кислорода к материалу и замедляет распространение пламени.

Необходимо остановиться на преимуществах огнезащитных составов с добавлением кремнийорганических соединений. Таковыми являются [23]:

– высокая эффективность: покрытия на основе кремнийорганических смол или диоксида кремния обеспечивают надежную защиту от огня даже при длительном воздействии высоких температур;

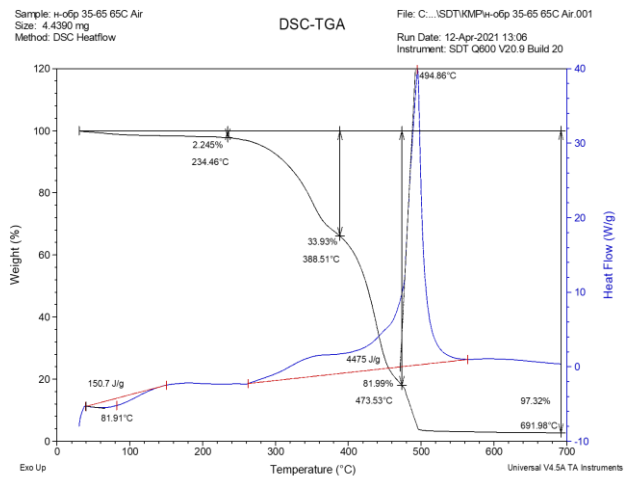
– долговечность: покрытия устойчивы к износу и сохраняют свои свойства в течение длительного времени и после многократных стирок, устойчивы к действию пониженных температур;

– экологичность: большинство кремнийорганических соединений являются экологически чистыми и не содержат токсичных веществ.

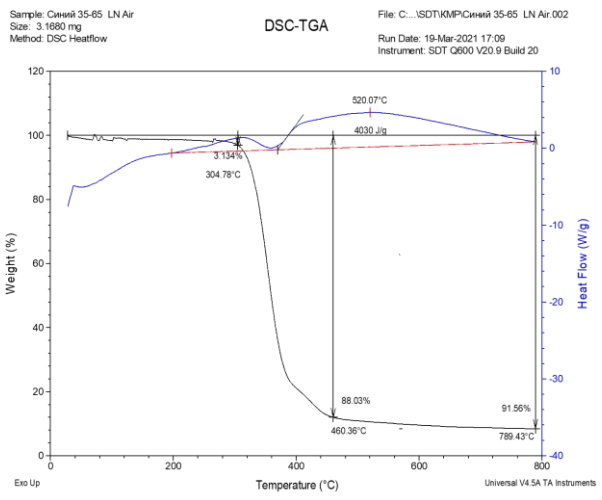
Таким образом, в качестве добавок в огнезащитный состав предлагается вводить кремнийсодержащие соединения.

Экспериментальная часть работы проведена с использованием ткани "саржа": исходной, огнезащищенной составами 1, 2, 3 и подвергшейся обработке жидким азотом в криокамере до и после огнезащиты для имитации условий Крайнего Севера и Арктики. Исследования поведения указанных образцов проводили на термоанализаторе SDT Q600 TA Instruments (США) в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (г. Москва).

В результате получены кривые ТГА, обозначенные на всех приведенных далее графиках зеленым цветом, и кривые ДСК, обозначенные фиолетовым цветом.



а)



б)

Рис. 1

На рис. 1 показаны ТГА и ДСК кривые, полученные при термическом анализе: а – исходного образца саржи без огнезащитной отделки; б – исходного образца саржи без огнезащитной отделки сразу после обработки жидким азотом.

Сравнение представленных кривых ТГА и ДСК показывает их различие не только в профилях кривых, но и в численных значениях потери массы и величины тепловых эффектов. Наблюдаемые изменения можно объяснить следующим образом. Саржа выработана из смесового волокна, состоящего из 35 % хлопка и 65 % полиэфира (ПЭ). Указанные составляющие волокна имеют разное происхождение и химический состав, следовательно, отличаются по физико-механическим, физико-химическим и химическим свойствам. На рис. 1, а по кривой ТГА можно наблюдать следующие фазовые переходы: ТГ-кривая начинает плавно снижаться при температуре 260 ºС, что соответствует плавлению полиэфирной составляющей. Далее она имеет перегиб в диапазоне температур 350…390 ºС, что соответствует температуре разложения как ПЭ, так и целлюлозы хлопка на более короткие полимерные цепи и затем на газообразные продукты. На ДСК кривой можно выделить диапазон температур, в котором происходит переход полиэфира в высокоэластическое состояние (85…110 ºС), и температуру, при которой волокна полностью разрушаются, что соответствует максимальному пику на кривой. В данном случае имеет место экзотермический процесс с тепловым эффектом реакции 4475 Дж/г. Масса зольного остатка и исчерпывающей термодеструкции составляет 2,68 %.

Ход ТГ-кривой на рис. 1, б лишен перегиба в области температур 350…390 ºС. Это связано с тем, что при замораживании в целлюлозе хлопка происходят сложные процессы, влияющие на структуру, свойства и реакционную способность материала. Авторы [24, 25] отмечают, что эти изменения связаны с взаимодействием целлюлозы с молекулами воды, присутствующей в виде кондиционной влаги, кристаллизацией воды и уменьшением степени кристалличности самой целлюлозы за счет разрыхления и расклинивания целлюлозной структуры микрокристаллами льда, что приводит к росту гидрофильности материала [25].

Имеются справочные данные [23], что полиэфирное волокно является устойчивым к действию температур до минус 60 ºС, при этом длительное воздействие не изменяет его свойств. Поскольку полиэфирная составляющая волокна является гидрофобной, то все процессы, связанные с замораживаем, протекают в целлюлозе. Происходит внутреннее обезвоживание волокон за счет вытягивания воды из микрокапилляров в зону кристаллизации льда [25]. Результатом является уплотнение структуры смесового волокна. Косвенным подтверждением высказанной гипотезы является увеличение количества зольного остатка до 8,44 %.

Кривая ДСК также отличается своим характером: отсутствует ярко выраженный пик; температурный интервал, в котором происходит потеря массы материала, сужается; тепловой эффект экзотермической реакции уменьшается до 4030 Дж/г. При этом выделение тепла продолжает наблюдаться и при практически полном разрушении волокна. Возможно, указанные отличия связаны с тем, что жидкий азот одновременно воздействует на волокно двумя путями:

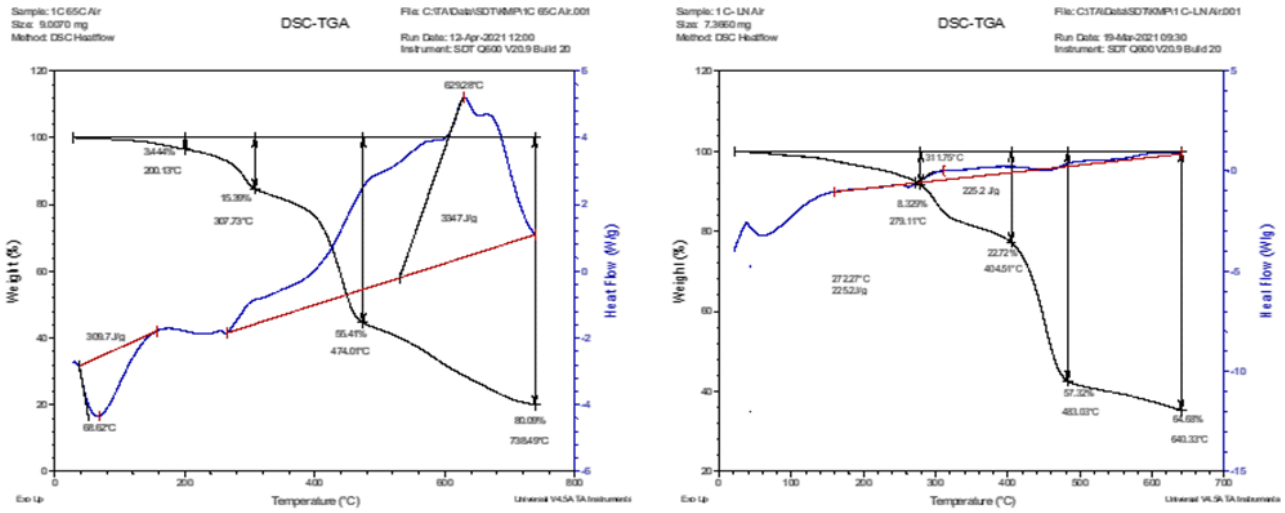
– вытесняет воздух из межволоконного пространства и субмикроскопических пор, и поскольку удельная теплоемкость жидкого азота в 2 раза больше, чем воздуха, – 2,02 Дж/г ºС против 1,01 Дж/г ºС, при деструкции выдержанной в жидком азоте ткани выделяется меньше теплоты;

– происходит замораживание кондиционной влаги в структуре гидрофильной составляющей волокна, что влияет на последующие физико-механические и физико-химические свойства текстильного материала.

На следующем этапе работы проведен термический анализ образцов саржи, обработанной огнезащитными составами.

Последовательно проводилось сравнение полученных кривых ТГА и ДСК для огнезащищенных образцов до и после их обработки в жидком азоте.

На рис. 2 представлены ТГА и ДСК кривые, полученные при термическом анализе образцов, обработанных составом 1: а – образца саржи с огнезащитной отделкой "Пироватекс"; б – образца саржи с огнезащитной отделкой "Пироватекс" сразу после обработки жидким азотом.



а) б)

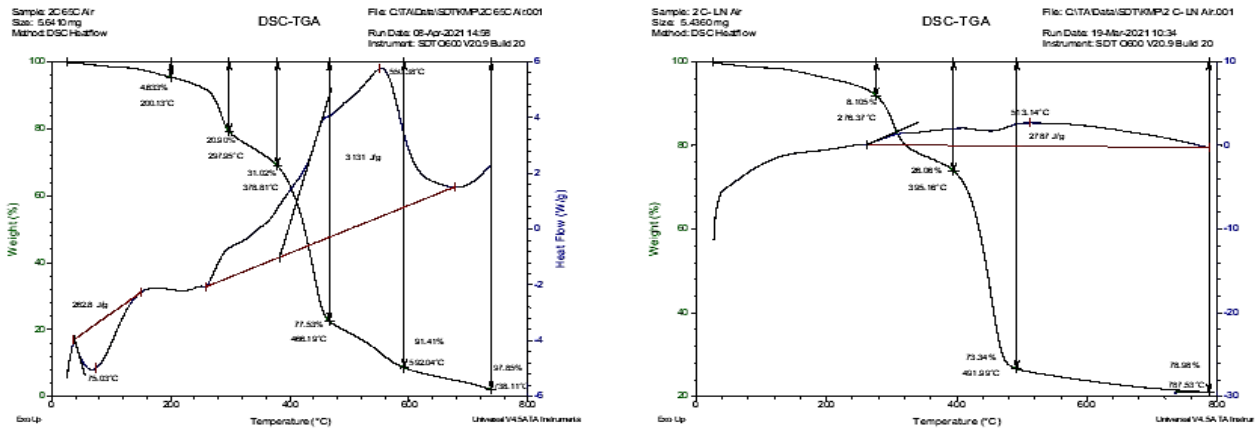
Рис. 2

Сравнительный анализ представленных на рис. 1, а и 2, а кривых ТГА позволяет сделать вывод о том, что наличие на ткани антипирена расширяет диапазон температур, в котором наблюдается потеря массы образцов: у необработанного образца ~ 235…495 ºС, у огнезащищенного ~ 200…740 ºС. Кроме того, количество зольного остатка при одинаковой температуре составляет у исходной ткани, как уже отмечалось, 2,68 %, а у ткани с огнезащитной обработкой – 19,91 %. Этот факт свидетельствует о том, что ткань становится более термостойкой. Таким образом, термический анализ позволяет выявить наличие огнезащитного состава на текстильном материале.

При сравнении кривых ДСК на рис. 1, а и 2, а видим, что на начальном участке нагрева у образца, обработанного раствором "Пироватекса" (рис. 2, а), более ярко выражен эндотермический эффект – 309,7 Дж/г, чем у исходного – 150,7 Дж/г (рис. 1, а). Данный факт можно объяснить тем, что молекулы антипирена дополнительно поглощают подводимое к образцу тепло, следовательно, наличие антипирена в материале требует большего количества энергии для дальнейшего разогрева ткани. Обращает на себя внимание и факт смещения максимального пика на кривой ДСК в область более высоких температур у огнезащищенного образца ~ 629 ºС по сравнению с исходным ~ 495 ºС.

После обработки жидким азотом образца с "Пироватексом" (рис. 2, б) характер полученных кривых ТГА и ДСК во многом схож с приведенным на рис. 1, б для саржи без огнезащиты, обработанной жидким азотом. Однако для образца с антипиреном на ТГ-кривой (рис. 2, б) сохраняются перегибы, характеризующие изменение фазовых состояний смесового волокна. Что касается термостойкости, то можно отметить ее повышение (количество зольного остатка ~ 35 %), видимо, за счет вытеснения азотом кислорода воздуха из пор волокна и межволоконного пространства, что замедляет термоокислительную деструкцию полимеров (целлюлозы и полиэфира). При сравнении ДСК кривых рис. 1, б и 2, б можно отметить снижение экзотермического эффекта реакции разложения с 4030 Дж/г в первом случае до 225 Дж/г во втором, что также можно трактовать как устойчивость огнезащитной обработки к действию пониженных температур.

На рис. 3 приведены полученные кривые ТГА и ДСК для образцов саржи, обработанной огнезащитным составом 2 ("Пироватекс"+КОС+уксусная кислота), до и после обработки в криокамере: а – саржа с огнезащитной отделкой "Пироватекс"+КОС+уксусная кислота; б – саржа с огнезащитной отделкой "Пироватекс"+КОС+уксусная кислота сразу после обработки жидким азотом.

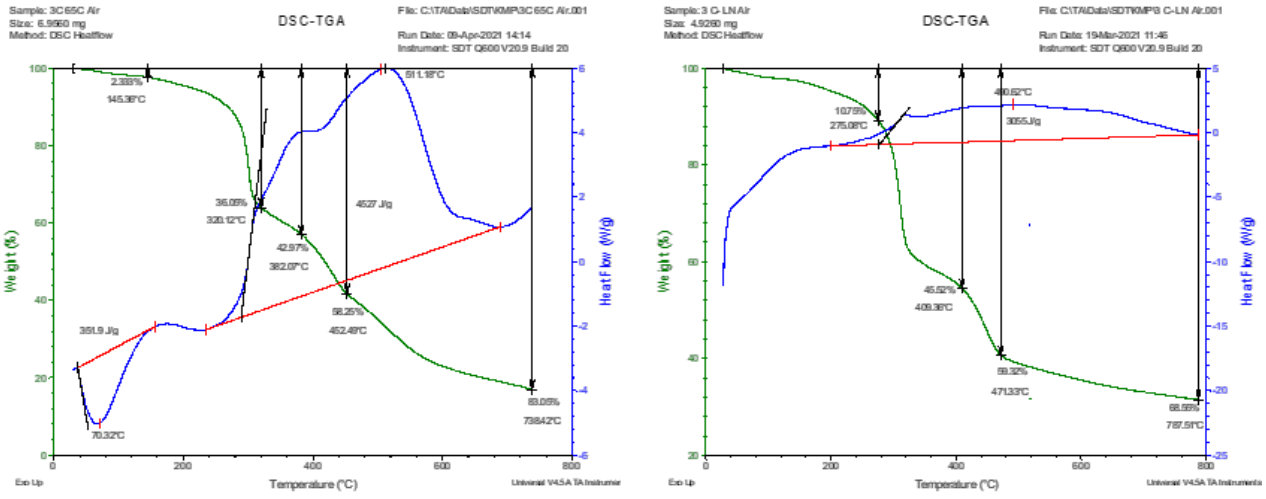


а) б)

Рис. 3

Анализ графиков свидетельствует о том, что кривые зависимостей исследованных образцов имеют аналогичные вышеприведенным характеристики. Это позволяет подтвердить факт, что смесовая ткань не теряет своих физико-механических свойств при пониженных температурах. Основное отличие для данной пары образцов заключается в величинах тепловых эффектов экзотермических реакций разложения волокна: для огнезащищенного образца до обработки жидким азотом количество выделившегося тепла составляет 3131 Дж/г, для аналогичного образца после обработки жидким азотом – 2787 Дж/г.

Сравнивая величины тепловых эффектов для саржи, обработанной составом 1 (рис. 2, а) и составом 2 (с добавлением КОС) (рис. 3, а), необходимо отметить, что наличие в технологическом растворе КОС в конечном итоге снижает тепловыделение при термоокислительной деструкции материала с 3347 Дж/г до 3131 Дж/г. Таким образом, можно сделать вывод о положительном влиянии введенной добавки на качество огнезащиты хлопкополиэфирной ткани.



а) б)

Рис. 4

При анализе результатов обработки саржи составом 3 ("Пироватекс+Ковелос+ уксусная кислота"), приведенных на рис. 4 (а – саржа с огнезащитной отделкой до обработки жидким азотом; б – саржа с огнезащитной отделкой сразу после обработки жидким азотом), отмечено, что присутствие порошка диоксида кремния в пропиточном составе кардинально не способствует повышению огнезащиты ткани.

Величина теплового эффекта разложения в данном случае (рис. 4, а) составляет 4527 Дж/г, что сопоставимо с аналогичной величиной для исходного образца без огнезащиты 4475 Дж/г (рис. 1, а). Характер кривых, приведенных на рис. 4, б, свидетельствует, что ткань, обработанная составом 3, будет также выдерживать воздействие пониженных температур, но использование технологического раствора с добавкой "Ковелоса" нецелесообразно. По-видимому, это связано с тем, что порошок диоксида кремния образует водную дисперсию, что затрудняет его равномерное распределение на поверхности ткани, а проникновение частиц "Ковелоса" во внутренний объем волокна и вовсе невозможно.

В заключение данного этапа работы в качестве обобщения необходимо отметить, что в течение 24 часов после обработки жидким азотом образцы, в том числе и исходный, показали значительное снижение способности к возгоранию под действием открытого пламени. Исходный образец сочетал в себе процессы горения и тления, огнезащищенные образцы в пламени тлели, а после выноса из пламени происходило самозатухание материала. Полученный эффект можно объяснить замещением кислорода воздуха, находящегося во внутреннем объеме волокна и межволоконном пространстве, на инертный газ азот. Таким образом, показано, что азот сохраняет свои флегматизирующие свойства минимум 24 часа, поскольку термические показатели тканей после обработки жидким азотом также не изменяются в течение указанного времени.

На следующем этапе работы по полученным данным предстояло проанализировать, насколько морозостойкой является огнезащитная отделка ткани, обработанной составами 1, 2, 3. С этой целью проводилось сравнение термических характеристик исходного и огнезащищенных образцов через трое суток после их извлечения из криокамеры.

На рис. 5 представлены кривые зависимости потери массы от температуры для исходного образца саржи до (кривая 1) и после (кривая 2) обработки жидким азотом, полученные методом ТГА. Для образца, выдержанного в жидком азоте, анализ проводился через 72 часа после экспонирования.

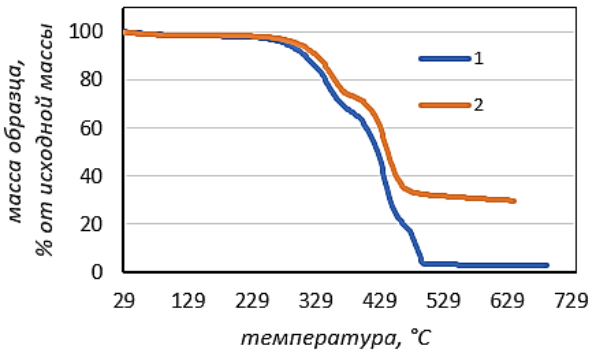
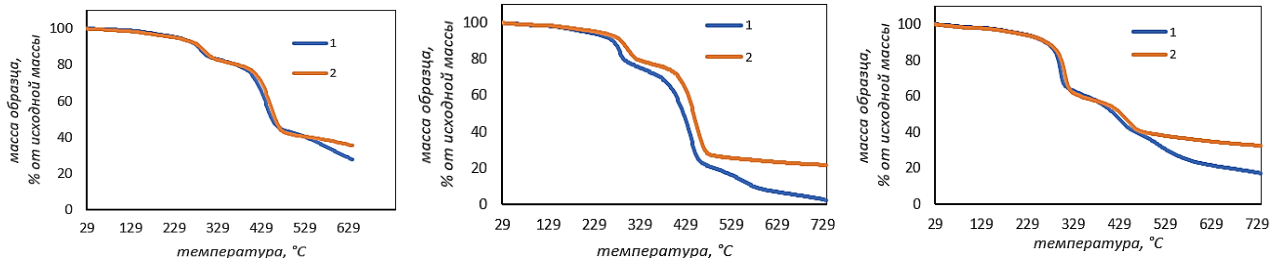


Рис. 5

Отмечено, что ход кривых для обоих образцов не отличается друг от друга. Обращает на себя внимание факт повышения устойчивости к термическому воздействию материала, обработанного жидким азотом. Ранее [10, 13] нами было показано, что поведение текстильных материалов при высоких температурах в инертной среде отличается от их поведения в воздушной: в инертной среде одинаковые по химической природе и структуре ткани в диапазоне температур 300…700 °С имеют меньшую потерю массы, чем в воздушной. Установленный факт связан с превалирующим протеканием процесса термической деструкции в первом случае и термоокислительной – во втором, поскольку при проведении эксперимента в воздушной среде к кислороду, находящемуся в объеме материала, добавляется кислород воздуха, ускоряющий окислительные процессы волокнообразующих полимеров. Экспонирование образца саржи в жидком азоте приводит к вытеснению кис-

лорода из пор и межволоконного пространства, что исключает процесс окисления полимерного материала, оставляя в качестве деструктирующего фактора только высокую температуру.

На рис. 6, а, б, в приведены графики изменения массы образцов с ростом температуры, полученные при термическом анализе, для хлопкополиэфирной саржи, обработанной составами 1, 2, 3 соответственно, до экспонирования в жидком азоте (кривые 1) и снятые через 72 часа после извлечения из криокамеры (кривые 2).



а) б) в)

Рис. 6

Анализ хода кривых, представленных на рис. 6, свидетельствует о том, что огнезащитная отделка всех исследованных образцов устойчива к действию пониженных температур. Наилучшим образом проявил себя огнезащитный состав 2, содержащий в качестве добавки кремнийорганический препарат КОС: данные рис. 6, б, полученные через 72 часа после обработки в криокамере, показывают снижение показателя убыли массы ткани с ростом температуры для огнезащищенного образца.

ВЫВОДЫ

1. Подготовлены образцы хлопкополиэфирного материала "саржа" 35ХВ+65ПЭ, обработанные антипирирующими составами на основе препарата "Пироватекс" с различными кремнийсодержащими добавками.

2. Дано теоретическое и экспериментальное обоснование положительного влияния кремнийорганических добавок на качество огнезащитной отделки ткани.

3. Изучено поведение и проведено сравнение образцов, обработанных предложенными составами, в условиях отрицательных температур. Показано, что все рассмотренные огнезащитные составы, нанесенные на текстильный материал, являются морозостойкими и не теряют своих огнезащитных свойств после их экспонирования в криокамере.

4. На основании экспериментальных данных в качестве наиболее эффективного рекомендован огнезащитный состав, содержащий кремнийорганическую добавку КОС (состав 2): предложенная огнезащитная композиция для спецодежды надежно предохраняет человека от воздействия открытого пламени и одновременно является наиболее морозостойкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бузник В.М., Пророкова Н.П.* Синтетические текстильные материалы со специальными свойствами для использования в Арктике // Физика волокнистых материалов. Структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2016, 1-1. С. 20…25.

2. *Бузник В.М., Бурковская Н.П., Зибарева И.П. и др.* Арктическое материаловедение: состояние и развитие: монография. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2021. 414 с.

3. *Бузник В.М., Василевич Н.И.* Материалы для освоения арктических территорий: вызовы и решения // Лаборатория и производство. 2020, 1 (11). С. 98…107.

4. *Гетманцева В.В., Коберник Ю.О., Крючкова А.А., Смирнова Д.С.* Обзор рынка комплектов одежды для защиты от холода в условиях Арктики и арктического шельфа // Научный журнал "Костюмология". 2021, Т. 6, 2. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/11TLKL221.pdf (дата обращения: 12.12.2025).

5. *Cherunova L., Kornev N., Lykyanova E., Varavka V.* Development and Study of the Structure and Properties of a Composite Textile Material with Encapsulated Heat-Preserving Components for Heat-Protective Clothing // Appl. Sci. 2021, 11(11), 5247. –

https://doi.org/10.3390/app11115247 (дата обращения 12.12.2025).

6. Пат. RU 2638512 C1. Материал полимерно-тканевый водонепроницаемый огнестойкий (в морозостойком исполнении).

7. *Советников Д.А.* Разработка и исследование материалов для спецодежды военнослужащих, используемой в Арктической зоне: дис. … канд. техн. наук. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. 205 с.

8. *Бесшапошникова В.И., Куликова Т.В., Гришина О.А. и др.* Огнезащитная модификация синтетических волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. № 1 (288). С. 144…147.

9. *Леонова Н.А, Шкробышева В.И., Мельников Б.Н., Смирнова О.К.* Огнезащита целлюлозных материалов композициями фосфор- и азотсодержащих соединений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. № 5. С. 37…41.

10. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г.* Исследование пожароопасных свойств тканей из целлюлозных волокон методами термического анализа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 123…128.

11. *Клушин А.Н., Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Пестов И.В.* Термическая стабильность и огнестойкость волокнистых материалов: научный анализ отечественного и зарубежного опыта исследований // Современные проблемы гражданской защиты. 2025, 2 (55). С. 48…57.

12. *Микрюкова О.Н.* Разработка и исследование свойств огнезащитных текстильных материалов и пакетов спецодежды: дис. … канд. техн. наук. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. 176 с.

13. *Циркина О.Г, Спиридонова В.Г., Салихова А.Х. и др.* Актуализация справочной информации о показателях пожарной опасности текстильных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. 2025, 1 (54). С. 135…144.

14. *Перепелкин К.Е.* Горючесть текстиля как одна из его важнейших характеристик // Химические волокна. 2001, 5. С. 8…42.

15. *Wen O.Y., Mohd Tohir M.Z., Yeaw T.C.S. etc.* Fire-resistant and flame-retardant surface finishing of polymers and textiles: A state-of-the-art review // Progress in Organic Coatings. 2023, 175, 107330. – https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107330 (дата обращения: 12.12.2025).

16. *Emam R.H.A., El-Sayed I.E., Xin J. etc.* Innovative coating of cotton textile fabrics for integrating outstanding flame hazard safety, UV protection, tensile strength strengthening and antibacterial properties // Industrial Crops and Products. 2024, 216, 118752. – https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118752 (дата обращения: 12.12.2025).

17. *Attia N.F., Zakria A.M., Nour M.A. etc.* Rational strategy for construction of multifunctional coatings for achieving high fire safety, antibacterial, UV protection and electrical conductivity functions of textile fabrics // Materials Today Sustainability. 2023, 23, 100450. – https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100450. (дата обращения: 12.12.2025).

18. *Сырбу С.А., Циркина О.Г., Салихова А.Х. и др.* Проблемные вопросы придания текстильным материалам специальных защитных свойств // Современные проблемы гражданской защиты. 2023, 2 (47). С. 134…141.

19. *Салихова А.Х., Сырбу С.А., Циркина О.Г., Киселев М.Р.* Влияние кремнийсодержащих добавок на эффективность огнезащитной обработки текстильных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. 2022, 2 (43). С. 92…100.

20. *Сырбу С.А., Циркина О.Г., Колесникова Н.Н. и др.* Влияние наполнителей ПВХ-покрытия целлюлозосодержащих текстильных материалов на эффективность их огнезащиты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 2 (416). С. 181…195.

21. *Беззапонная О.В.* Изучение особенностей развития пожара с использованием метода синхронного термического анализа // Безопасность веществ и материалов. Пожаровзрывобезопасность. 2022, 5, 31. С. 26…32.

22. *Краев И.Д., Попков О.В., Шульдешов Е.М. и др.* Перспективы использования кремнийорганических полимеров при создании современных материалов и покрытий различных назначений // Полимерные материалы. Труды ВИАМ. 2017, 12 (60). С. 48…62.

23. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. Кремнийорганические соединения. – https://www.chem21.info/info/1400323/ (дата обращения 20.11.2025).

24. *Грунин Ю.Б., Грунин Л.Ю., Таланцев В.И. и др.* Исследование влияния замораживания на состояние связанной воды в волокнах древесной целлюлозы. – https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-zamorazhivaniya-na-sostoyanie-svyazannoy-vody-v-voloknah-drevesnoy-tsellyulozy/viewer. (Дата обращения 20.11.2025).

25. *Осовская И.И., Антонова В.С.* Влияние низкотемпературной обработки целлюлозы на теплоты гидратации и структурные свойства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 359…364. – https://www.researchgate.net/publication/338696620 (дата обращения 12.11.2025).

REFERENCES

1. *Buznik V.M., Prorokova N.P.* Synthetic textile materials with special properties for use in the Arctic // Physics of fibrous materials. Structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX). 2016, 1-1. pp. 20…25.

2. *Buznik V.M., Burkovskaya N.P., Zibareva I.P. et al.* Arctic materials science: status and development: monograph. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2021. 414 p.

3. *Buznik V.M., Vasilevich N.I.* Materials for the development of Arctic territories: challenges and solutions // Laboratory and production. 2020, 1 (11). pp. 98…107.

4. *Getmantseva V.V., Kobernik Yu.O., Kryuchkova A.A., Smirnova D.S.* Market Review of Clothing Sets for Protection from Cold in the Arctic and Arctic Shelf

// Scientific Journal "Costumology". 2021, Vol. 6, 2. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/11TLKL221.pdf (date accessed: 12.12.2025).

5. *Cherunova L., Kornev N., Lykyanova E., Varavka V.* Development and Study of the Structure and Properties of a Composite Textile Material with Encapsulated Heat-Preserving Components for Heat-Protective Clothing // Appl. Sci. 2021, 11(11), 5247. – https://doi.org/10.3390/app11115247 (accessed 12.12.2025).

6. Patent RU 2638512 C1. Waterproof fire-resistant polymer-fabric material (in frost-resistant design).

7. *Sovetnikov D.A.* Development and study of materials for special clothing for military personnel used in the Arctic zone: dis. ... Cand. of Technical Sciences. M.: RSU named after A.N. Kosygin", 2017. 205 p.

8. *Besshaposhnikova V.I., Kulikova T.V., Grishina O.A. etc.* Fire-retardant modification of synthetic fibrous materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2006, 1 (288). Pp. 144…147.

9. *Leonova N.A., Shkrobysheva V.I., Melnikov B.N., Smirnova O.K.* Fire protection of cellulose materials by compositions of phosphorus- and nitrogen-containing compounds // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2005, 5. Pp. 37…41.

10. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G.* Study of fire-hazardous properties of fabrics made of cellulose fibers by thermal analysis methods // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, 2 (404). P. 123…128.

11. *Klushin A.N., Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Pestov I.V.* Thermal stability and fire resistance of fibrous materials: a scientific analysis of domestic and foreign research experience // Modern problems of civil protection. 2025, 2 (55). P. 48…57.

12. *Mikryukova O.N.* Development and study of the properties of fire-retardant textile materials and workwear packages: diss. ... Cand. Sciences. Moscow: RSU named after A.N. Kosygin, 2018. 176 p.

13. *Tsirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.Kh. et al.* Updating the reference information on the fire hazard indicators of textile materials // Modern problems of civil protection. 2025, 1 (54). P. 135…144.

14. *Perepyolkin K.E.* Flammability of textiles as one of its most important characteristics // Chemical fibers. 2001, 5. P. 8…42.

15. *Wen O.Y., Mohd Tohir M.Z., Yeaw T.C.S. et al.* Fire-resistant and flame-retardant surface finishing of polymers and textiles: A state-of-the-art review // Progress in Organic Coatings. 2023, 175, 107330. – https://doi.org/10.1016 /j.porgcoat.2022.107330 (access date: 12.12.2025).

16. *Emam R.H.A., El-Sayed I.E., Xin J. et al.* Innovative coating of cotton textile fabrics for integrating outstanding flame hazard safety, UV protection, tensile strength strengthening and antibacterial properties // Industrial Crops and Products. 2024, 216, 118752. – https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118752 (access date: 12.12.2025).

17. *Attia N.F., Zakria A.M., Nour M.A. et al.* Rational strategy for construction of multifunctional coatings for achieving high fire safety, antibacterial, UV protection and electrical conductivity functions of textile fabrics // Materials Today Sustainability. 2023, 23, 100450. – https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100450. (Accessed: 12.12.2025).

18. *Syrbu S.A., Tsirkina O.G., Salikhova A.Kh. et al.* Problematic issues of imparting special protective properties to textile materials // Modern problems of civil protection. 2023, 2 (47). P. 134…141.

19. *Salikhova A.Kh., Syrbu S.A., Tsirkina O.G., Kiselev M.R.* Influence of silicon-containing additives on the efficiency of fire-retardant treatment of textile materials // Modern problems of civil protection. 2022, 2 (43). P. 92…100.

20. S*yrbu S.A., Tsirkina O.G., Kolesnikova N.N. et al.* Influence of fillers of PVC coating of cellulose-containing textile materials on the efficiency of their fire protection // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025, 2 (416). P. 181…195.

21. *Bezzaponnaya O.V.* Study of fire development features using the synchronous thermal analysis method // Safety of substances and materials. Fire and explosion safety. 2022, 5, 31. pp. 26...32.

22. *Kraev I.D., Popkov O.V., Shuldeshov E.M. et al.* Prospects for using organosilicon polymers in the creation of modern materials and coatings for various purposes // Polymer materials. Transactions of VIAM. 2017, 12 (60). pp. 48...62.

23. Chemist's Handbook 21. Chemistry and chemical technology. Organosilicon compounds. – https://www.chem21.info/info/1400323/ (date of access 20.11.2025).

24. *Grunin Yu.B., Grunin L.Yu., Talantsev V.I. et al.* Study of the effect of freezing on the state of bound water in wood pulp fibers. – https://cyberleninka.ru/article /n/issledovanie-vliyaniya-zamorazhivaniya-na-sostoyanie-svyazannoy-vody-v-voloknah-drevesnoy-tsellyulozy/viewer. (Accessed 20.11.2025).

25. *Osovskaya I.I., Antonova V.S.* Effect of low-temperature treatment of cellulose on the heats of hydration and structural properties of cellulose // Chemistry of plant raw materials. 2019, No. 4. pp. 359…364. – https://www.researchgate.net/publication/338696620 (accessed 12.11.2025).

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты ИПСА. Поступила 12.01.26.

УДК 687.4:687.53:366
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_312

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И СГЕНЕРИРОВАННЫХ СВАДЕБНЫХ ПЛАТЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫШИВКИ КОРЕННЫХ НАРОДОВ КРЫМА В УСЛОВИЯХ АРОМАСТИМУЛЯЦИИ*

A STUDY OF CONSUMER PERCEPTION OF TRADITIONAL AND GENERATED WEDDING DRESSES USING CRIMEAN INDIGENOUS EMBROIDERY UNDER THE CONDITIONS OF AROMASTIMULATION

Н.Н. КАЛЬКОВА, О.Б. ЯРОШ, Л.А. СТРОКИНА, С.Е. БАБАК

N.N. KALKOVA, O.B. YAROSH, L.A. STROKINA, S.E. BABAK

(Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского)

(V.I. Vernadsky Crimean Federal University)

E-mail: nkalkova@yandex.ru, iarosh.olga.cfu@gmail.com, nestlarisa@yandex.ru, svetlana.babak@list.ru

Актуальность исследования обусловлена противоречием между глобальной унификацией свадебной моды и растущим запросом на этнокультурную идентичность, что особенно значимо для регионов с уникальным наследием, включая крымско-татарский орнамент "Орьнек" и технику золотного шитья "Татар ишлеме" (включены в список ЮНЕСКО). Проблема заключается в отсутствии эмпирически обоснованных подходов к интеграции традиционных орнаментов в дизайн свадебных платьев с использованием технологий искусственного интеллекта. Цель работы заключалась в экспериментальной оценке реакций потребителей на реальные и сгенерированные ИИ изображения свадебных платьев с вышивкой "Татар ишлеме", в том числе в условиях аромастимуляции чайной розой. Методы исследования включали электроэнцефалографию (регистрацию индексов валентности, возбуждения и вовлеченности), вербальное шкалирование и сравнительный анализ межэтнических различий в восприятии стимулов. Результаты исследования позволили выявить значимую асимметрию в распознавании изображений: реальные изображения верно идентифицированы в 74% случаев, ИИ-генерации – лишь в 42%. Крымские татарки, обладая более высокой этнокультурной компетентностью, ниже оценивали сгенерированные

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-02269, https://rscf.ru/project/25-28-02269/

изображения, точнее выявляя нарушения канона. В статье подчеркивается, что ИИ-дизайны способны вызывать положительные реакции, сравнимые с реальными образцами, однако нуждаются в обязательной этнокультурной верификации, опирающейся на аутентичное знание ремесленной традиции. На основе нейрофизиологических паттернов, зафиксированных с помощью ЭЭГ, установлено, что испытуемые в равной мере высоко оценивают как подлинные свадебные платья, так и сгенерированные искусственным интеллектом изображения, при этом аромат чайной розы, как показал эксперимент, снижает общее физиологическое возбуждение и перестраивает иерархию визуальных предпочтений.

Практическая значимость работы заключается в обосновании возможности интеграции аутентичной техники золотного шитья "Татар ишлеме" в современный дизайн свадебных платьев посредством цифровых технологий, что позволит не только сохранить и актуализировать традиционное орнаментальное наследие крымских татар, но и создавать коммерчески востребованные продукты с высокой культурной ценностью.

The relevance of this study stems from the tension between the global homogenization of wedding fashion and the growing demand for ethno-cultural identity—a particularly significant issue for regions with unique heritage, such as the Crimean Tatar "Ornek" ornament and the "Tatar Ishleme" gold embroidery technique (both inscribed on the UNESCO Representative List). The problem lies in the lack of empirically grounded approaches to integrating traditional ornaments into wedding dress design using artificial intelligence technologies. The study aimed to experimentally evaluate consumer reactions to real versus AI-generated images of wedding dresses featuring "Tatar Ishleme" embroidery, including under conditions of olfactory stimulation with tea rose. Research methods included electroencephalography (recording indices of valence, arousal, and engagement), verbal scaling, and a comparative analysis of cross-ethnic differences in stimulus perception. The results revealed a significant asymmetry in image recognition: real images were correctly identified in 74% of cases, whereas AI-generated images were identified correctly in only 42%. Crimean Tatar women, possessing higher ethno-cultural competence, rated the AI-generated images lower, as they were better able to detect deviations from traditional canons. The article emphasizes that while AI-generated designs can elicit positive reactions comparable to those evoked by real garments, they require mandatory ethno-cultural verification grounded in authentic knowledge of the craft tradition. Based on neurophysiological patterns recorded via EEG, it has been established that test subjects rate both authentic wedding dresses and AI-generated images highly; furthermore, the experiment demonstrated that the scent of tea rose reduces overall physiological arousal and alters the hierarchy of visual preferences.

The practical significance of this work lies in demonstrating the feasibility of integrating the authentic "Tatar Ishleme" gold embroidery technique into modern wedding dress design through digital technologies; this approach enables not only the preservation and revitalization of the traditional ornamental heritage of the Crimean Tatars but also the creation of commercially viable products possessing high cultural value.

Ключевые слова: крымско-татарский орнамент, "Татар ишлеме", искусственный интеллект, дизайн, свадебное платье, запах розы, продвижение, региональный брендинг, культурное наследие.

Keywords: Crimean Tatar ornament, "Tatar ishleme", artificial intelligence, design, wedding dress, rose scent, regional branding, cultural heritage.

Введение

Условия глобализации, унификации, модернизации, цифровизации культуры и всех сфер жизнедеятельности хотя и способствуют проявлению различных граней человеческой природы, однако не в состоянии "породить человека вне определенного этноса и цивилизации" [1]. Одним из наиболее архаичных и устойчивых элементов этнической культуры является свадебная обрядность, в процессе которой свадебный костюм или платье рассматривается не просто как одежда, а как "сложная знаковая система, транслирующая представления о женщине, роде, социальной структуре в культурной картине мира" [2]. Во второй половине XX века у многих народов наблюдается не только общее осознание своей этнической принадлежности, но и конкретный, обращенный к свадебной традиции интерес к собственным корням, выражающийся в возрождении древних свадебных обычаев, обрядов, ритуалов, а также в восстановлении народных промыслов [1], связанных с изготовлением свадебного костюма, головных уборов невесты и жениха, вышивки и декоративных украшений, которые вновь обретают символическое значение в современных брачных церемониях. В результате наблюдается устойчивый рост интереса к этнической составляющей, позволяющей выразить культурную идентичность, поскольку вопрос сохранения и переосмысления традиционного наследия становится особенно важным в условиях диджитал-экономики, вследствие чего ключевое значение приобретает изучение таких визуальных и ритуальных форм, как свадебный наряд невесты, в котором сплетаются "архетипические, художественные и магико-обрядовые смыслы" [3]. Интерес к национальному стилю и аксессуарам, а также спрос на одежду с этническими узорами растет не только в России, но и, например, в Казахстане, где казахстанские женщины все чаще выбирают наряды с этнодекором не только для торжеств, но и как естественную и любимую часть повседневного гардероба [4].

Следует отметить, что бракосочетание является социально сконструированным ритуалом (обрядом), связанным с преобладающими культурными концепциями и условностями, а свадебное платье, как отмечают исследователи, является в высшей степени символичным предметом, воплощающим в себе представления о переходе невесты из одного социального статуса в другой (из девушки в замужнюю женщину) [2]. Стиль и цвет свадебного платья определяются контекстуальными факторами каждой свадьбы, социальными условностями и культурным контекстом, содержащим явные и скрытые символы, которые передаются между невестой и присутствующими [2]. Значимыми элементами свадебного платья, помимо дизайна и качества материала, определяющими его этническое и семиотическое значение, являются орнамент, цвет и используемые техники шитья, в том числе золотыми и серебряными нитями, бисером, которые не только эстетически привлекательны, но в своей совокупности выступают в качестве многоуровневой знаковой системы, посредством которой кодируются и передаются как предпочтения, так и родовая принадлежность, социальный статус, брачный возраст невесты, и выполняют охранительную (апотропическую) функцию, "отражая злые силы и защищая от сглаза" [3].

Несмотря на то, что в современных условиях дизайны свадебных платьев все больше стандартизируются под влиянием глобальной моды, в культурах Южной Азии, Ближнего Востока, Северной Африки, Европы, Америки одежда для бракосочетания в значительной мере сохранила свой традиционный характер, а невесты намеренно отказываются от унифицированных западных образов в пользу платьев с аутентичной вышивкой [4], чтобы подчеркнуть свою причастность к культурному наследию своего народа (рис. 1 – традиционные свадебные платья женщин Северной Африки (Алжир, Марокко)) (https://dream-weddingday.com/wedding-dress/cultural-dresses/ (дата обращения: 10.04.2026)).



Рис. 1

Именно через орнаментальный код (например, журавли и цветы сакуры на японском кимоно), цветовую символику, технику вышивки (в том числе бисером, серебряным и золотным шитьем), материал ткани (шелк, шифон, атлас, парча), а также используемые аксессуары (например, перья, кружево) свадебный наряд с учетом его визуальных и тактильных кодов может рассматриваться как подлинный культурный артефакт, связующий прошлое и настоящее, личное и коллективное, материальное и духовное.

Применение техники золотного шитья и этнических орнаментов в дизайне свадебных платьев представляет собой неотрадиционный феномен в современной индустрии моды, обусловленный комплексом социокультурных, эстетических и маркетинговых факторов. Однако в условиях негативного воздействия глобализации и массовой культуры возникает риск утраты локально специфичных орнаментальных систем вышивки [5], присущих в том числе свадебной обрядовости отдельных регионов, вследствие чего использование исторических орнаментов в дизайне современного свадебного платья выступает фактором сохранения регионального культурного наследия и обеспечивает его трансляцию в долгосрочной перспективе.

Вместе с тем необходимо учитывать, что при разработке дизайна и производстве свадебного платья с учетом этнических орнаментов важно оценивать потребительское восприятие на допроизводственной стадии, что в условиях использования инструментов четвертой промышленной революции (технологии ИИ, глубокого машинного обучения) [6] и нейроэкономики позволит снизить риски производства невостребованной или семиотически противоречивой продукции, а также более точно разработать дизайн товаров, соответствующий требованиям современной невесты, которая через призму цифровой культуры и персонализированных алгоритмов ожидает от свадебного наряда не просто декоративной этничности ради красоты, а отражения связи между древними узорами предков и ее собственными внутренними ощущениями. Таким образом, в современных условиях интерес модельеров и дизайнеров связан с новыми подходами к осмыслению национального костюма в качестве одного из ключевых этнокультурных источников, что позволяет не только актуализировать богатство и разнообразие этнических форм, их глубинную связь с историей народа, мифологией и искусством, но и получать актуализированные варианты творческого воплощения в традиционных одеждах, в том числе в свадебных костюмах жениха и невесты [7].

В работе рассматриваются методы обработки традиционных крымско-татарских орнаментов в дизайне современных свадебных платьев с использованием технологии искусственного интеллекта, а также перспективы применения аромастимуляции аутентичными крымскими эфирными маслами для продвижения продукции в свадебных салонах. Поскольку "золотная вышивка практически не встречается в традиционной одежде ввиду прервавшейся традиции ее использования, не производятся с использованием данной техники изделия религиозного назначения, предметы, украшения светского или культового интерьера" [8], в рамках исследования акцентируется внимание на сохранении этнокультурной самобытности и росте региональной

узнаваемости за счет повышения интереса потребителей и интеграции традиционных орнаментальных решений в текстильные изделия, в частности использования техники золотого шитья "ишлеме" в дизайне свадебных платьев.

Золотное шитье и его семиотическое отражение в традиционных орнаментах

Искусство золотного шитья, то есть создания орнаментов на ткани с использованием драгоценных металлических нитей, уходит корнями в глубокую древность. Самые ранние археологические находки, свидетельствующие о применении золота в текстиле, относятся к цивилизациям Древнего Египта и Месопотамии (III–II тысячелетие до н. э.). Однако как самостоятельная и развитая техника вышивки золотное шитье получило распространение гораздо позже. Согласно преданию, первые сведения о нем относятся ко II веку до н. э., когда оно возникло в Пергамском царстве (на северо-западе Малой Азии). Этот вид декоративно-прикладного искусства, заключающийся в вышивке орнаментов с использованием золотых и серебряных нитей, тонкой проволоки, шелка и декоративных элементов, традиционно выполнялся на бархате, шелке, сукне, коже и других тканях, и испокон веков это ремесло было неразрывно связано с демонстрацией высокого социального статуса, материального достатка, родовой гордости и нередко сакральной власти (https://pokrov.nne.ru/eto-interesno-zolotnoe-shityo/ (дата обращения: 22.04.2026)).

Согласно историческим источникам, золотошвейное ремесло в Центральной Азии, в частности в Бухаре, существовало уже в XIV в. как сложившийся промысел. К XIX в. в Бухаре сформировалась полноценная школа золотошвейного мастерства. Золотное шитье в этом регионе было не просто украшением, а показателем статуса: одежды знати расшивались золотом с головы до ног (включая халаты, тюбетейки, сапоги и даже попоны лошадей), а само золотошвейное дело считалось прерогативой мужчин, которые обучались ремеслу с 10-12 лет. В орнаментах преобладали растительные мотивы (розетки, миндаль, гранат, хризантемы), а особую роскошь изделиям придавали драгоценные камни и ювелирные бляшки (рис. 2 – образцы предметов золотошвейной одежды XIX-XX вв. в Узбекистане).



Рис. 2

Особое место золотное шитье занимало в свадебной традиции многих народов. Техника вышивания золотой нитью широко используется в оформлении свадебных нарядов и сопутствующих аксессуаров у многих народов, включая народы Кавказа, крымских татар, для которых возрождение золотного шитья в XX веке стало предметом национальной гордости. Например, в Узбекистане с возрождением национальных традиций изделия золотошвейников обрели популярность: расшитые халаты в современных условиях дарят почетным гостям и включают в свадебный гардероб жениха, а тюбетейки, сумочки, туфли и пояса, украшенные золотной вышивкой, пользуются спросом у туристов [9].

Крымский полуостров имеет уникальный этнический состав, где до середины XX столетия (и особенно в период Крымского ханства) значительную часть населения составляли крымские татары [5], в культуре данного этноса использовалось искусство золотного шитья, известное с XIV в. В исторической ретроспективе это мастерство имело два направления: профессиональное ремесло, которым занимались мужчины в рамках цеховых объединений "кезаджей", обслуживавших ханский двор и знать, и домашнее рукоделие, которое процветало в народной среде и переда-

валось от матери к дочери. Девочек обучали шитью с семи лет, и к свадьбе каждая готовила приданое, которое могло насчитывать до 250 вышитых полотенец. Основу золотошвейного искусства крымских татар составляла техника "Татар ишлеме" ("татарская работа", так называемая "глухая гладь" или двустороннее шитье), которая выполнялась без предварительного настила: мастерица плотно заполняла узор стежками, строго считая нити основы и утка ткани. В результате при движении иглы вперед и назад стежки смещались по определенной схеме, за счет чего и рождались самые разные геометрические узоры (https://cnt-rk.ru/novosti/krymned-005/ (дата обращения: 27.05.2026)).

На рис. 3 представлены декоративные платки конца XIX – начала XX вв. из коллекции Крымского этнографического музея (https://ethnocrimea.ru/).



Рис. 3

Техника "Татар ишлеме" широко применялась в декоре как традиционного костюма, так и домашнего текстиля. В число изделий, декорированных данной техникой, входили предметы, предназначавшиеся для жениха и особо чтимых гостей: головные уборы "фес", подвязки для носок "чорап бав", свадебный пояс жениха "учкъур", платок (явлук), нарукавники "эль къап". Помимо этого, золотным шитьем украшали женские головные уборы, девичьи и невестины шарфы (шербенте), а также платки замужних женщин (марама) (https://collection.ethnomuseum.ru/entity/ARTICLE/2415 (дата обращения: 15.04.2026)).

На рис. 4 представлена женская шапочка (начало XX в.) из коллекции российского этнографического музея (https://collection.ethnomuseum.ru/entity/ARTICLE/2415).



Рис. 4

Сфера применения данной техники шитья распространялась и на декоративные, и на бытовые текстильные изделия: накидки для Корана, диванные подушки, декоративные настенные полотенца "эвджияр", "къыбрыз" и покрывала для детских колыбелей. Примечательно, что при вышивке поясов чаще отдавали предпочтение шелковым нитям, тогда как на шарфах доминировали золотные нити, проложенные по шелковой основе, причем активное использование последних получило широкое распространение начиная со второй половины XIX в. Стоит отметить, что, например, свадебный пояс жениха, согласно этнографическим исследованиям, входил в состав подарка невесты "докуз" (девять предметов) и отличался особым разнообразием у горно-прибрежной группы крымских татар, вобрав в себя как местные, так и османско-турецкие традиции (кушаки, учкуры) [8]. По мере увеличения площади золотого шитья свадебный пояс утратил утилитарную функцию. Как отмечает Л.И. Рославцева, "к концу XIX века его концы стали сшивать, надевая через голову как символ супружества" [10].

Согласно сохранившимся сведениям, техника "Татар ишлеме" насчитывала более 70 вариантов орнаментальных мотивов, тогда как основные счетные швы – "ел йип шаширма" ("не теряй дорожки") и "таарлеме" ("ограждающий") – имели около сотни различных комбинаций (https://cnt-rk.ru/novosti/krymned-005/ (дата обращения: 27.05.2026)).

Ввиду исключительной значимости техники золотного шитья "Татар ишлеме" для сохранения и трансляции уникального культурного кода крымско-татарского народа, его глобальной ценности, уникального символического содержания, роли в консолидации этнической идентичности, а также необходимости охраны данного этнокультурного наследия, введение данной техники в список ЮНЕСКО представляется не случайным событием. В 2021 г. крымско-татарский орнамент "Орьнек", неотъемлемой составляющей которого является техника золотного шитья "Татар ишлеме", был официально включен в Репрезентативный список нематериального культурного наследия человечества ЮНЕСКО (https://ich.unesco.org/en/Decisions/16.com/8.b.45 (дата обращения: 10.04.2026)). Полученный международный охранный статус предопределяет необходимость органичной интеграции многовековых традиций золотного шитья "Татар ишлеме" с современными технологиями цифрового проектирования и искусственного интеллекта, что позволит адаптировать традиционные узоры к требованиям массового производства без ущерба для их сакральной символики. Особую значимость подобный синтез приобретает при разработке свадебных платьев, отвечающих актуальным эстетическим запросам, что будет способствовать сохранению аутентичной техники исполнения и трансляции культурного наследия молодежной аудитории. В свою очередь, коммерческая востребованность таких изделий, а также их интеграция в свадебную моду влечет за собой сохранение этнической идентичности, что позволит развивать традицию как эволюционирующий феномен, а не консервировать ее в исключительно музейном формате.

Использование технологий искусственного интеллекта для разработки дизайна свадебных платьев

В современных условиях искусственный интеллект (ИИ) используется во всех сферах творческой и производственной деятельности, включая дизайн. Использование ИИ в дизайне одежды становится не просто технологическим трендом, а необходимостью, обусловленной стремительным ростом объемов данных, потребностью в глубокой персонализации продуктов и переходом к устойчивым моделям производства. Кроме того, в цифровую эпоху изменяются и сами потребители: они активно выражают свое мнение, обмениваются информацией в цифровой среде, и их ожидания от модных продуктов существенно отличаются от запросов предыдущих поколений. Именно поэтому внедрение цифровых технологий и компьютерных программ на основе ИИ актуально не только с точки зрения помощи потребителям при консультировании по выбору стиля [11], но и в процессах проектирования дизайна и стилизации одежды [12], а также в оценке качества готовой швейной продукции [13, 14]. Данные системы помогают быстрее и точнее обрабатывать большие массивы информации, изучать индивидуальные предпочтения пользователей и запоминать их отзывы. Ожидается, что внедрение передовых технологий, в том числе искусственного интеллекта, создаст основу для устойчивых решений в производстве модной одежды: повысит производительность, снизит нерациональное энергопотребление при управлении складскими запасами и поможет преодолеть экологические последствия перепроизводства [15]. Учитывая, что оценка экономической эффективности ИТ-решений может выполняться на протяжении всего жизненного цикла проекта [16], важно исследовать, в том числе экспериментально, как воспринимается сгенерированный дизайн одежды (в данном случае свадебных платьев) потребителями до ее производства, что обеспечит снижение риска выпуска невостребованной продукции, минимизацию финансовых потерь и сокращение объемов нереализованных коллекций, тем самым способствуя более устойчивому и экономически обоснованному производственному циклу.

Несмотря на растущее число исследований в области человеко-компьютерного взаимодействия применительно к технологиям искусственного интеллекта, до сих пор отсутствуют четкие рекомендации по оценке эффективности спроектированного дизайна, хотя сотрудничество дизайнеров с

ИИ способно повысить производительность. Также стоит отметить, что без учета творческого подхода дизайнеры склонны предлагать однотипные и неоптимальные решения, а технология ИИ, в свою очередь, может лишь удовлетворить базовый запрос пользователя, не раскрывая всего спектра возможностей, повышающих ценность продукта. Поэтому наряду с классическим исследовательским инструментарием, вербальными оценками для верификации наиболее привлекательного дизайна свадебных платьев необходимо использовать нейронаучные методы, в частности электроэнцефалографию (ЭЭГ), позволяющую объективно регистрировать нейрокогнитивные реакции потребителей и тем самым восполнять недостаток устоявшихся критериев в оценке ИИ-сгенерированных решений. Нейронаучные методы наряду с опросами и экспертными оценками применялись российскими исследователями для проверки соответствия внешнего вида сгенерированного цифрового двойника реальному историческому костюму с использованием технологии eye-tracking, позволяющей в реальном времени фиксировать зоны внимания десяти экспертов [17], а также зарубежными учеными, которые в своей работе исследовали эстетические ощущения, возникающие на основе восприятия дизайна одежды, и объективные физиологические реакции мозга, анализируя характеристики электрической активности (ЭЭГ) для их количественной оценки [18]. Таким образом, оба подхода не только доказали эффективность нейронаучных методов в сфере исследований восприятия одежды, но и создали основу для внедрения объективных физиологических показателей в практику валидации дизайн-решений.

Помимо проектирования дизайна свадебной одежды, не менее важным является ее эффективное продвижение в свадебных салонах с использованием методов мерчандайзинга, интегрирующих не только визуальные и тактильные стимулы, но и ольфакторные инструменты. Аромастимуляция является инструментом неявного маркетингового воздействия, способным модулировать эмоциональное состояние потенциальной невесты, усиливать чувство эстетического наслаждения от примеряемого наряда, а также формировать устойчивые положительные ассоциации, связывающие ароматический фон с восприятием роскоши, подлинности и уникальности свадебного платья [19]. Именно поэтому комплексное использование нейронаучных методов позволит оценивать восприятие свадебных платьев как на этапе предпроектного анализа и валидации дизайн-решений, так и непосредственно в процессе их презентации в свадебных салонах с учетом влияния аромастимуляции и других сенсорных атрибутов среды.

Методы исследования

В рамках данного исследования в качестве стимульного материала было разработано 10 изображений свадебных платьев с золотой вышивкой, сгенерированных искусственным интеллектом на следующих доступных платформах:

1. Jay Flow (https://jayflow.ai/app).
2. Fabula (https://app.fabula-ai.com/board).
3. Magnific (https://www.magnific.com/app).

В экспериментальном исследовании приняли участие 10 добровольцев женского пола в возрасте от 18 до 22 лет, соответствующих заранее определенным критериям: отсутствие острых или хронических респираторных заболеваний, а также нормальное обоняние, подтвержденное субъективным отчетом. Участницы были равномерно распределены по этнокультурному признаку на две сопоставимые подгруппы: 5 женщин русской национальности и 5 женщин крымско-татарской национальности, что позволило в дальнейшем анализировать межкультурные различия в восприятии стимулов (свадебных платьев). Все испытуемые предварительно подписали информированное согласие и были детально ознакомлены с целями и процедурой эксперимента.

В качестве стимульного материала использовалось 20 изображений свадебных платьев, из которых 10 представляли собой фотографии реальных изделий с вышивкой, а остальные 10 были сгенерированы искусственным интеллектом с использованием орнаментальных мотивов "Татар ишлеме".

Реальные фото свадебных платьев были взяты с сайта свадебного магазина Fleur d'Orange (https://gabbiano-mgn.ru/svadebnye-platya/jozi/vela/agnesa.html) и поисковой системы Яндекс и впоследствии проверены на наличие генерации с использованием нейросети Decopy (https://decopy.ai/ai-image-detector/).

Эксперимент включал два этапа, разделенных трехнедельным интервалом. На первом этапе испытуемые просматривали последовательно предъявляемые изображения на экране монитора без какого-либо дополнительного сенсорного воздействия; одновременно регистрировались паттерны мозговой активности с использованием электроэнцефалограммы (ЭЭГ). На втором этапе, проводившемся в том же помещении через три недели, условия были дополнены аромастимуляцией: в воздух с помощью аромадиффузора распылялось масло чайной розы в дозировке 0,48 мл (что соответствует приблизительно 8 каплям) на 20 м² площади помещения [19]. После завершения каждого этапа (просмотра всех 20 изображений) участницы вербализировали по 5-балльной шкале свое отношение по каждому представленному платью, указав также, является ли оно, по их мнению, реальным изделием или сгенерированным искусственным интеллектом.

Образцы стимульного материала представлены на рис. 5 (реальные изображения) и рис. 6 (сгенерированные изображения).



Рис. 5



Рис. 6

Регистрацию электроэнцефалографических сигналов осуществляли с помощью четырехканальной системы NeuroPlay, оснащенной активными электродами. Их размещение выполнялось согласно международному стандарту "10–20" в области

лобных долей (точки F3, F4) и затылочной зоны (точки O1, O2). Частота оцифровки составляла 250 Гц, а полоса пропускания фильтра – от 0,5 до 35 Гц. Референтный электрод крепился на мочке уха (A1).

Экспериментальные исследования проходили в "Лаборатории нейромаркетинга и поведенческой экономики" при неизменной температуре воздуха 22…23°С. Условия предполагали нахождение испытуемого с открытыми глазами: испытуемый размещался в удобном кресле перед экраном монитора, на котором последовательно предъявлялись стимульные изображения. На первом этапе (без аромастимуляции) испытуемые просматривали изображения свадебных платьев на нейтральном фоне, при этом первоначально демонстрировался 10-секундный фон (демонстрация слайда-заставки перед предъявлением платья), затем в течение 10 секунд на экране отображались свадебные платья. На втором этапе (с аромастимуляцией) испытуемые просматривали те же изображения в той же последовательности, однако в помещении предварительно с помощью аромадиффузора распыляли масло чайной розы, благодаря чему на протяжении всего этапа в воздухе присутствовал устойчивый аромат. Чтобы минимизировать артефакты, связанные с движениями и непроизвольным морганием, испытуемых инструктировали сохранять неподвижную позу и по возможности не напрягать мимические мышцы.

Обработка ЭЭГ-сигнала производилась в программном комплексе "ЭЭГ Студио Анализ" (фирма "Мицар", Россия). Проводилась как ручная, так и автоматическая очистка от артефактов. Для каждого электродного отведения и в рамках двух этапов испытаний вычисляли спектральную мощность (в мкВ²/Гц). Далее рассчитывались индекс вовлеченности и индекс возбуждения, где положительные значения предполагали положительные эмоции [20]:

$$I_{валентности} = \frac{\alpha(F4)}{\beta(F4)} - \frac{\alpha(F3)}{\beta(F3)}, \quad (1)$$

$$I_{возбуждения} = \frac{\beta(F3) + \beta(F4)}{\alpha(F3) + \alpha(F4)}, \quad (2)$$

где α-альфа, β-бета, θ-тета – показатели мощности ритмов мозга при реакции на запах стимулов в соответствующих отведениях.

В основе этих расчетов лежат соотношения бета- и альфа-активности в лобных отведениях (F3, F4). В итоговых результатах спектральная мощность представлена как в исходных единицах (мкВ²), так и после логарифмического преобразования для каждого из четырех каналов: O1, F3, F4, O2. Для корректного сопоставления реакций разных испытуемых на предъявляемые стимулы показатели дополнительно подвергались логарифмическому нормированию.

Результаты и обсуждение

На первом этапе выявлена значимая асимметрия в различении двух типов визуальных стимулов. Доля верных ответов испытуемыми при визуальном изучении реальных изображений свадебных платьев составила 74,0%, тогда как сгенерированные были верно идентифицированы лишь в 42,0% случаев (табл. 1).

Таблица 1

№ стимула	Характеристика стимула*	Количество испытуемых, верифицирующих стимул, чел.		Вербальная оценка, баллы (max – 5, min – 1)		
		Р	ИИ	среднее по всем испытуемым	среднее (русские)	среднее (крымские татарки)
1	Р	2	8	3,8	4,0	3,6
2	ИИ	1	9	2,3	2,0	2,6
3	ИИ	8	2	2,4	2,6	2,2
4	Р	10	-	3,4	3,8	3,0
5	Р	8	2	2,1	2,2	2,0
6	Р	8	2	3,2	3,2	3,2
7	ИИ	10	-	2,9	2,4	3,4
8	Р	8	2	4,3	4,6	4,0

Окончание табл. 1

9	ИИ	3	7	1,9	2,0	1,8
10	Р	10	-	4,3	4,8	3,8
11	ИИ	3	7	3,5	4,0	3,0
12	ИИ	2	8	2,9	3,0	2,8
13	Р	10	-	1,5	1,4	1,6
14	ИИ	10	-	2,2	2,2	2,2
15	Р	10	-	3,6	3,8	3,4
16	ИИ	7	3	2,2	2,2	2,2
17	Р	6	4	4,3	4,0	4,6
18	ИИ	4	6	4,2	4,4	4,0
19	Р	2	8	2,6	2,6	2,6
20	ИИ	10	-	2,7	3,2	2,2

Выявленная разница в 32,0% свидетельствует о том, что, несмотря на наличие у участников базовых критериев идентификации изображений, они не смогли отличить свадебные платья, созданные на платформах ИИ, от реальных визуальных образов в значительной доле случаев, что указывает на более высокую, нежели предполагалось, эффективность введения потребителя в заблуждение. При этом данная тенденция частично соответствует глобальному тренду, поскольку согласно проведенному ранее исследованию участники правильно идентифицировали изображения, созданные искусственным интеллектом, в 63,7% случаев в целом [21]. Аналогичный полученному нами парадокс фиксируется и на российском рынке, где, по данным опросов, от 60% до 80% респондентов не могут надежно отличить нейросетевые изображения от подлинных (https://rb.ru/news/otlichit-dipfejk-ot-nastoyashej-fotografii/?utm_source=copy_out (дата обращения: 29.05.2026)).

Среди реальных фотографий свадебных платьев максимальные баллы (>3,5) получили стимулы №8 (4,3), №10 (4,3), №17 (4,3), №1 (3,8) и №15 (3,6). Среди изображений, сгенерированных ИИ, оценку выше 3,5 баллов получили только два стимула: №18 (4,2) и №11 (3,5) (табл. 1). Сгенерированные ИИ изображения в среднем оценивались ниже (общая средняя вербальная оценка по ИИ-стимулам составляет ≈2,8 баллов против ≈3,3 у реальных), что связано с повышенной критичностью испытуемых к "неестественным" деталям: нарушению пропорций, текстуре тканей, анатомии манекенов.

Следует отметить, что единичные ИИ-стимулы (например, №18) смоделированы в нестандартном, футуристическом дизайне, привлекающем внимание за счет новизны и эстетической выразительности, тогда как реальные изображения платьев с высокой узнаваемостью (например, №13) могут быть визуально непривлекательными, что и обусловливает низкую вербальную оценку (1,5 балла) (рис. 7 – образцы сгенерированного свадебного платья (№18) и реального (№13)).



Рис. 7

Таким образом, часть визуальных стимулов, воспринимаемых испытуемыми как более "реалистичные", а значит, потенциально более предсказуемые, уступали в привлекательности более необычным, визуально запоминающимся, инновационным и даже местами "нереалистичным" ИИ-генерациям.

Сравнительный анализ вербальных оценок позволил также установить этноспецифические паттерны восприятия изображений. С одной стороны, в шести случаях из десяти (ИИ-стимулы №№ 3, 9, 11, 12, 18, 20) русские испытуемые оценивали сгенерированные изображения выше, чем крымские татарки, и только в двух случаях (стимулы №№ 2, 7) вербальные оценки противоположны, что в целом свидетельствует о незначительности межэтнических различий и об универсальной привлекательности орнаментальных мотивов для обеих групп. Вопреки ожиданиям о предпочтении этнических орнаментов лишь носителями соответствующей культуры, женщины русской национальности высоко оценили такие изображения, что подтверждает единый тренд позитивного восприятия элементов культурного наследия в современном дизайне потребителями в России независимо от их этнической принадлежности. Однако, с другой стороны, крымские татарки в силу имеющихся культурных знаний и навыков распознавания традиционных узоров ниже оценивали ИИ-изображения, поскольку они более точно и компетентно идентифицировали аутентичные орнаменты, например, с асимметричным расположением элементов, с нехарактерными мотивами, с нарушением канонической цветовой гаммы, со смешением техник разных регионов или эпох в одном узоре, а также с чуждыми культурными символами, не имеющими отношения к крымско-татарскому наследию. Полученные результаты согласуются с работой [22], в которой учеными установлено, что ИИ-модели часто неспособны генерировать культурно-специфические элементы, поскольку "популярные модели преобразования текста в изображение хорошо справляются с запросами, связанными с международной и общекультурной тематикой, они не обладают достаточными знаниями об отдельных культурах, … что может привести к некорректным результатам, снижению качества генерации и распространению стереотипов и оскорбительного контента" [22].

В рамках первого этапа по результатам электроэнцефалографического исследования были рассчитаны три ключевых показателя эмоционального и когнитивного реагирования на стимулы без аромастимуляции (табл. 2).

Таблица 2

№ стимула	Характеристика стимула	Без аромастимуляции		С аромастимуляцией	
		Индекс валентности	Индекс возбуждения	Индекс валентности	Индекс возбуждения
1	Р	0,0136	0,8958	0,0243	0,8001
2	ИИ	-0,0049	0,9123	0,0194	0,7846
3	ИИ	0,0161	0,8838	-0,0325	0,8041
4	Р	0,0178	0,8443	0,0111	0,8149
5	Р	0,0466	0,8609	0,0294	0,8057
6	Р	0,0366	0,8618	0,0021	0,7584
7	ИИ	0,0513	0,8638	0,0870	0,7999
8	Р	0,0334	0,8740	0,0317	0,8031
9	ИИ	0,0328	0,8398	0,0369	0,8041
10	Р	-0,0297	0,8687	0,0085	0,8178
11	ИИ	-0,0160	0,8571	-0,0389	0,8110
12	ИИ	0,0513	0,8828	0,0351	0,7636
13	Р	0,0808	0,8714	-0,0260	0,8116
14	ИИ	0,0355	0,8496	0,0539	0,8208
15	Р	0,0279	0,8502	0,0960	0,7582
16	ИИ	0,1021	0,8808	0,0898	0,7458
17	Р	0,0958	0,8137	0,0627	0,7677
18	ИИ	0,0464	0,8393	0,0227	0,7783
19	Р	0,1351	0,9076	0,0176	0,7841
20	ИИ	0,1517	0,8626	0,0455	0,7885

Полученные результаты показывают, что наибольшие значения индекса валентности, свидетельствующие о максимальной положительной эмоциональной оценке, т. е. о привлекательности изображения, зафиксированы для стимулов №№ 20, 19, 16, 17 (рис. 8).



Рис. 8

Обращает на себя внимание тот факт, что привлекательными для испытуемых оказались как реальные, так и сгенерированные нейросетью стимулы, причем максимальный показатель принадлежит именно ИИ-стимулу. Наименее привлекательными с точки зрения нейрофизиологических реакций являются реальное фото №10 (индекс валентности -0,0297), ИИ-изображение №11 (-0,0160) и ИИ-изображение №2 (-0,0049) (рис. 9).



Рис. 9

Наиболее высокие показатели индекса возбуждения, отражающего степень физиологической активации испытуемых при просмотре дизайнов платьев и свидетельствующего о большем эмоциональном отклике, зафиксированы для ИИ-изображения №2 (0,9123) и реального фото №19 (0,9076). При этом на стимул №2 с высокими показателями возбуждения одновременно зафиксированы показатели отрицательной валентности, что указывает на сильную активацию испытуемых, но она связана не с привлекательностью, а, возможно, с непривлекательностью или когнитивным конфликтом. Напротив, усредненные показатели мозговой активности на стимул №19 (реальное платье) сочетают высокое возбуждение с высокой валентностью, т. е. данное платье является одновременно и привлекательным, и активирующим.

В рамках второго этапа экспериментальных исследований испытуемым предъявлялись те же стимулы (реальные и ИИ-изображения свадебных платьев), но в условиях аромастимуляции чайной розы (табл. 2) [23].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что абсолютные величины показателя эмоциональной валентности в большинстве случаев снизились. Также изменилась иерархия потребительских пред-

почтений: наиболее привлекательными в условиях аромастимуляции стали стимулы №15 (Р, 0,0960), №16 (ИИ, 0,0898), №7 (ИИ, 0,0870), №17 (Р, 0,0627) и №14 (ИИ, 0,0539) (рис. 10).



Рис. 10

Определено также, что при аромастимуляции появились новые отрицательные значения валентности: стимулы №3 (ИИ, -0,0325), №11 (ИИ, -0,0389) и №13 (Р, -0,0260), которые ранее (без запаха) имели положительные или слабоотрицательные показатели (рис. 11).



Рис. 11

Таким образом, запах чайной розы неоднозначно влияет на эмоциональную оценку, как повышая привлекательность некоторых дизайнов платьев (например, №15, №7), так и снижая ее для других стимулов (особенно для ранее высоко оцененных №20 и №19), а также провоцирует негативную оценку части стимулов. Следует отметить, что при добавлении аромата чайной розы наблюдается систематическое снижение индекса возбуждения практически для всех стимулов, что указывает на общий успокаивающий, релаксирующий эффект запаха чайной розы, который снижает физиологическое возбуждение независимо от эмоциональной оценки изображения.

В Ы В О Д Ы

В последние годы в сфере проектирования, производства и реализации одежды произошли революционные преобразования, связанные с изменением финансовых, социальных, экологических и эстетических потребностей, благодаря слиянию индустрии моды и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), инновационному подходу к модным системам реального времени (RTFSs), что обусловило развитие конвергентной экосистемы одежды.

Проведенный анализ вербальных данных выявил сложную и неоднозначную природу способности респондентов к рас-

познаванию источника визуального контента. Наблюдается существенная асимметрия в верной идентификации реальных изображений и в их большей средней вербальной оценке, однако отдельные футуристические ИИ-дизайны платьев были высоко оценены испытуемыми. Кроме того, фиксируются различия восприятия изображений по национальности. Так, испытуемые крымско-татарской национальности, демонстрируя более высокий уровень этнокультурной компетентности, ниже оценивали сгенерированные изображения по сравнению с испытуемыми русской национальности, поскольку они с большей точностью идентифицировали отклонения от традиционного канона вышивки "Татар ишлеме". Это свидетельствует о принципиальной уязвимости современных нейросетей перед этноспецифическими паттернами, что ставит под вопрос их использование для аутентичного воспроизведения орнаментального наследия без жесткой экспертной фильтрации.

Полученные нейрофизиологические данные свидетельствуют о том, что ИИ-дизайны свадебных платьев способны вызывать не менее положительные реакции, чем реальные фотографии, а в ряде случаев превосходят их по показателю привлекательности. Однако отдельные сгенерированные образы (например, №2) могут провоцировать высокое эмоциональное возбуждение при отрицательной валентности, что следует учитывать при использовании алгоритмов генерации. Стабильно высокий уровень вовлеченности для всех стимулов подтверждает, что испытуемые одинаково внимательно рассматривают и традиционные, и сгенерированные изображения, а ключевые различия лежат в плоскости эмоционального переживания и активационной реакции на конкретные дизайнерские решения.

Использование запаха чайной розы (традиционного элемента крымской флоры) может стать эффективным инструментом усиления потребительского восприятия, однако его применение должно быть точечным и тестироваться для каждого конкретного дизайна. Кроме того, существенное снижение валентности у стимулов №20 и №19 при аромастимуляции наводит на мысль о возможном эффекте "сенсорной конкуренции", в рамках которой высоко детализированные или необычные (особенно сгенерированные) образы могут конфликтовать с ожидаемым романтическим ароматом розы, тогда как более традиционные или гармоничные дизайны (например, №15) выигрывают от такого сочетания.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение того, какие именно визуальные характеристики платьев (степень орнаментальной насыщенности, цветовая гамма, силуэт) взаимодействуют с обонятельным фоном, формируя итоговую привлекательность, и какой запах при аромастимуляции лучше использовать для продвижения свадебных платьев в салонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Котенок Е.Г., Фролова В.С.* Манифестация этничности в современном мире (на примере анализа свадебных обрядов) // Society and Security Insights. 2022. Т. 5. № 2. С. 186…204. DOI 10.14258/ssi(2022)2-13

2. *Arvanitidou Z., Gasouka M.* The Traditional Evolution of Style and Especially of Color of Bridal Dresses in Different Cultures during the Centuries // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. Vol. 4. № 4. P. 264…269. – DOI 10.5901/jesr.2014.v4n4p264

3. *Махат Л.Б.* Традиционный казахский свадебный наряд невесты: ритуал, символика и преемственность культуры // Universum: филология и искусствоведение: электрон. научн. журн. 2025. 7(133). С. 4…11. – https://7universum.com/ ru/philology/archive/item/20561 (дата обращения: 10.04.2026).

4. *Келесова У.С., Жаппарова А.К., Мунасипов С.Е. и др.* Технология декорирования изделий в этническом стиле // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3 (411). С. 254…258. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_254

5. *Калькова Н.Н., Ярош О.Б., Кальков Д.А.* Использование этнических узоров коренных народов Крыма в современном текстильном дизайне на основе алгоритмов глубокого машинного обучения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2026. № 1 (421). С. 290…298. – DOI 10.47367/0021-3497_2026_1_290

6. *Глазьев С.Ю.* Глобальная трансформация через призму смены технологических и мирохозяйственных укладов // AlterEconomics. 2022. Т. 19, № 1. С. 93…115. – DOI 10.31063/ AlterEconomics/2022.19-1.6

7. *Ли Су.* Этнокультурные традиции и современный китайский свадебный костюм // Известия Российского государственного педагогического

университета им. А.И. Герцена. 2010. № 123. С. 170…173. – EDN MUSOEB

8. *Саттарова Л.И.* О группе крымско-татарских вышивок в собрании национального музея Республики Татарстан // Tatarica. 2020. № 1(14). С. 103…117. DOI 10.26907/2311-2042-2020-14-1-103-117. EDN BUZUBD

9. *Ражабова Г.Ж., Самиева Ш.Х., Савриева Г.А.* Золотое ремесло рукодельниц древней Бухары // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 1495…1498. – https://moluch.ru/archive/89/17747 (дата обращения: 22.04.2026).

10. *Рославцева Л.И.* Одежда крымских татар конца XVIII – начала XIX в. Историко-этнографическое исследование. М., 2000. 104 с.

11. *Lee Y.K.* How complex systems get engaged in fashion design creation: Using artificial intelligence // Thinking Skills and Creativity. 2022. Vol. 46. 101137. – https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101137

12. *Борзунов Г.И., Каршакова Л.Б., Груздева М.А. и др.* Особенности проектирования одежды в цифровой среде // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 183…191. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_183. – EDN KJNYLI

13. *Белгородский В.С., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В.* Искусственный интеллект в оценке качества готовой швейной продукции // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 168…177. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_168. – EDN VKLKNI

14. *Зоидов К.Х., Урунов А.А., Акрамов Б.А.* Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 2(124). С. 12…22. – DOI 10.26726/1812-7096-2021-2-12-22. EDN UAMMYR

15. *Lee Y.K.* Transformation of the Innovative and Sustainable Supply Chain with Upcoming Real-Time Fashion Systems // Sustainability. 2021. 13. 1081. – https://doi.org/10.3390/su13031081

16. *Хорошева Е.Р., Филимонова Н.М., Башарина С.М., Якунина М.В.* Оценка эффективности ИТ-решений проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 252…260. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_252

17. *Кузьмичев В.Е., Сахарова Н.А., Грищенко Т.Н.* Параметрическое генерирование цифрового двойника исторического костюмного комплекса // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5(401). С. 200…209. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_ 5_200. – EDN XWRFQS

18. *Wang J.* EEG-based Quantitative Analysis of Aesthetic Emotion in Clothing Design // Translational Neuroscience. 2019. 10(1). С. 44…49. – DOI 10.1515/tnsci-2019-0008

19. *Ярош О.Б., Калькова Н.Н.* Аромамаркетинг: асимметрия потребительского восприятия традиционных продуктов регионального происхождения // Управленец. 2022. Т. 13, № 3. С. 67…79. – DOI 10.29141/2218-5003-2022-13-3-6. – EDN WAQJMR

20. *Kosonogov V., Shelepenkov D., Rudenkiy N.* EEG and Peripheral Markers of Viewer Ratings: A Study of Short Films // Frontiers in Neuroscience. 2023. Vol. 17. 1148205. – https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1148205

21. *Högemann M., Betke J., Thomas O.* What you see is not what you get anymore: a mixed-methods approach on human perception of AI-generated images // Frontiers in Artificial Intelligence. 2025. 8:1707336. P. 1…14. – DOI 10.3389/frai.2025.1707336

22. *Vasilev V.A., Arkhipkin V.S., Agafonova J.D. etc.* CRAFT: Cultural Russian-oriented dataset adaptation for focused text-to-image generation // Doklady Rossijskoj Akademii Nauk. Mathematika, Informatika, Processy Upravlenia. 2024. Vol. 520, No. 2. P. 154…168. – https://doi.org/10.31857 /S2686954324700474

23. *Тимиргалеева Р.Р., Паштецкий В.С., Вердыш М.В. и др.* Комплексный механизм управления развитием эфиромасличного производства в Республике Крым: монография. Симферополь: ИТ "АРИАЛ", 2023. 216 с. – EDN ASGGEV

R E F E R E N C E S

1. *Kotenok E.G., Frolova V.S.* Manifestation of Ethnicity in the Modern World (on the Example of the Analysis of Wedding Rituals) // Society and Security Insights. 2022. Vol. 5. No. 2. P. 186…204. – DOI 10.14258/ssi(2022)2-13

2. *Arvanitidou Z., Gasouka M.* The Traditional Evolution of Style and Especially of Color of Bridal Dresses in Different Cultures during the Centuries // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2014. Vol. 4. No. 4. P. 264…269. – DOI 10.5901/jesr.2014.v4n4p264

3. *Makhat L.B.* Traditional Kazakh Wedding Dress of the Bride: Ritual, Symbolism and Cultural Continuity // Universum: Philology and Art History: electronic scientific journal. 2025. 7(133). P. 4…11. – https://7universum.com/ru/philology/archive/item /20561 (accessed: 10.04.2026)

4. *Kelessova U.S., Zhapparova A.K., Munasipov S.E. etc.* Technology of Decorating Products in Ethnic Style // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 3 (411). P. 254…258. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_254

5. *Kalkova N.N., Yarosh O.B., Kalkov D.A.* The use of ethnic patterns of the indigenous peoples of crimea in modern textile design based on deep machine learning algorithms // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2026. No. 1 (421). P. 290…298. – DOI 10.47367/0021-3497_2026_1_290

6. *Glazyev S.Yu.* Global Transformation through the Prism of the Change of Technological and Economic Orders // AlterEconomics. 2022. Vol. 19, No. 1. P. 93…115. – DOI 10.31063/AlterEconomics/2022.19-1.6

7. *Li Su.* Ethnocultural Traditions and Modern Chinese Wedding Costume // Izvestiya Rossiyskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta im. A.I. Gertsena. 2010. No. 123. P. 170…173. – EDN MUSOEB

8. *Sattarova L.I.* On the Group of Crimean Tatar Embroideries in the Collection of the National Museum of the Republic of Tatarstan // Tatarica. 2020. No. 1(14). P. 103…117. – DOI 10.26907/2311-2042-2020-14-1-103-117. EDN BUZUBD

9. *Razhabova G.Zh., Samieva Sh.Kh., Savrieva G.A.* Gold Craft of the Embroiderers of Ancient Bukhara // Molodoy Uchenyy. 2015. No. 9 (89). P. 1495…1498. – https://moluch.ru/archive/89/17747 (accessed: 22.04.2026)

10. *Roslavtseva L.I.* Clothing of the Crimean Tatars of the Late 18th – Early 19th Century. Historical and Ethnographic Study. Moscow, 2000. 104 p.

11. *Lee Y.K.* How complex systems get engaged in fashion design creation: Using artificial intelligence // Thinking Skills and Creativity. 2022. Vol. 46. 101137. – https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101137

12. *Borzunov G.I., Karshakova L.B., Gruzdeva M.A. et al.* Features of Clothing Design in Digital Environment // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2(398). P. 183…191. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_183. – EDN KJNYLI

13. *Belgorodsky V.S., Guseva M.A., Andreeva E.G., Rogozhina Yu.V.* Artificial Intelligence in the Quality Assessment of Finished Garment Products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2(398). P. 168…177. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_168. – EDN VKLKNI

14. *Zoidov K.Kh., Urunov A.A., Akramov B.A.* Artificial Intelligence: Application Possibilities for Quality Control of Finished Products in the Textile Industry // Regionalnye problemy preobrazovaniya ekonomiki. 2021. No. 2(124). P. 12…22. – DOI 10.26726/1812-7096-2021-2-12-22. – EDN UAMMYR

15. *Lee Y.K.* Transformation of the Innovative and Sustainable Supply Chain with Upcoming Real-Time Fashion Systems // Sustainability. 2021. 13. 1081. – https://doi.org/10.3390/su13031081

16. *Khorosheva E.R., Filimonova N.M., Basharina S.M., Yakunina M.V.* Development of automation system production processes of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2(398). P. 252…260. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_252

17. *Kuzmichev V.E., Sakharova N.A., Grishchenko T.N.* Parametric generating of the digital twin of the historical costume // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 5(401). P. 200…209. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_5_200. – EDN XWRFQS

18. *Wang J.* EEG-based Quantitative Analysis of Aesthetic Emotion in Clothing Design // Translational Neuroscience. 2019. 10(1). P. 44…49. – DOI 10.1515/tnsci-2019-0008

19. *Yarosh O.B., Kalkova N.N.* Aroma Marketing: Asymmetry of Consumer Perception of Traditional Products of Regional Origin // Upravlenets. 2022. Vol. 13, No. 3. P. 67…79. – DOI 10.29141/2218-5003-2022-13-3-6. – EDN WAQJMR

20. *Kosonogov V., Shelepenkov D., Rudenkiy N.* EEG and Peripheral Markers of Viewer Ratings: A Study of Short Films // Frontiers in Neuroscience. 2023. Vol. 17. 1148205. – https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1148205

21. *Högemann M., Betke J., Thomas O.* What you see is not what you get anymore: a mixed-methods approach on human perception of AI-generated images // Frontiers in Artificial Intelligence. 2025. 8:1707336. P. 1…14. – DOI 10.3389/frai.2025.1707336

22. *Vasilev V.A., Arkhipkin V.S., Agafonova J.D. etc.* CRAFT: Cultural Russian-oriented dataset adaptation for focused text-to-image generation // Doklady Rossijskoj Akademii Nauk. Mathematika, Informatika, Processy Upravlenia. 2024. Vol. 520, No. 2. P. 154…168. – https://doi.org/10.31857/S2686954324700474

23. *Timirgaleeva R.R., Pashtetsky V.S., Verdysh M.V. et al.* Comprehensive Mechanism for Managing the Development of Essential Oil Production in the Republic of Crimea: monograph. Simferopol: IT "ARIAL", 2023. 216 p. – EDN ASGGEV

Рекомендована кафедрой маркетинга, торгового и таможенного дела Института экономики и управления КФУ им. В.И. Вернадского. Поступила 08.06.26.

УДК 687.01 (072)
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_329

КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОВРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ДИЗАЙНЕ

CLASSIFICATION OF MODERN CARPETS MADE IN THE STYLE OF ECOLOGICAL DESIGN

А.Н. КУЗНЕЦОВА, Е.В. МОРОЗОВА

A.N. KUZNETSOVA, E.V. MOROZOVA

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: 9161667008@mail.ru, morosowa8888@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы проектирования изделий в стиле экодизайна. Дается краткая характеристика современного понимания термина экодизайна. Обозначаются основные требования, предъявляемые к предметам текстильного дизайна, создаваемым с учетом экологических тенденций развития промышленного производства и авторских разработок художественного текстиля. Ковры являются одной из наиболее крупных ассортиментных групп текстиля для интерьера, в которых экодизайн находит самое широкое применение. Однако для этой группы до настоящего времени не проводилось исследований, касающихся вопросов экодизайна. Авторами проведен структурно-графический анализ образной составляющей экоковров и теоретический анализ возможностей их создания. Цель данной статьи – раскрыть ведущие направления экодизайна ковров, обеспечить дизайнерам понимание широты применяемых методов работы с данным ассортиментом. Систематизированные результаты авторского исследования представлены в виде классификации ковров, основу которой составляют органические и бионические признаки, используемые сегодня при оформлении интерьеров в экостиле. Данная классификация наглядно демонстрирует актуальные направления в создании экоковров. В каждой группе приводятся краткие характеристики способов воспроизведения природных образов.

The article discusses the design of products based on eco-design principles. It provides a brief overview of the current understanding of the term "eco-design." The article outlines the main requirements for textile design products that take into account the environmental trends in industrial production and the development of artistic textiles. Carpets are one of the largest categories of interior textiles, where eco-design is widely used. However, no eco-design studies have been conducted for this group to date. The authors conducted a structural and graphical analysis of the figurative component of eco-carpets and a theoretical analysis of the possibilities of their creation. The purpose of this article is to reveal the leading directions of eco-carpet design, to provide designers with an understanding of the breadth of methods used to work with this range. The systematized results of the author's research are presented in the form of a classification of carpets based on organic and bionic features used today in eco-style interior design. This classification clearly demonstrates current trends in eco-carpet creation. Each group provides brief descriptions of the methods used to reproduce natural images.

Ключевые слова: ковры, экодизайн, органические ковры, бионические ковры, природные и перерабатываемые материалы, имитация природных объектов и поверхностей.

Keywords: carpets, eco-design, organic carpets, bionic carpets, natural and recyclable materials, imitation of natural objects and surfaces.

Сегодня в проектировании ковров можно наблюдать увлечение природной тематикой, которая часто выражается в желании создать в интерьере буквальное подобие объектов природы.

Термин "экологический дизайн" в настоящее время широко используется в повседневной проектной практике и в научной литературе. Современное понимание термина трактуется как "направление в дизайне, уделяющее ключевое внимание гармонизации отношений человека и окружающей его среды, сохранению природной среды. Это комплексная и целостная дизайнерская деятельность, реализующая в проектируемых объектах (от бытовых предметов до зданий, городов и ландшафтов) сближение требований природной среды с потребительскими и эстетическими требованиями человека" [1].

Целью экологического дизайна является стабилизация отношений человека и природы, условий, в которых он живет или работает [2]. Экодизайн воплощает в себе то, что мы видим и находим в природе: природные материалы, фактуры, текстуры, формы. Бионика рассматривается здесь как одно из самых перспективных направлений современного экодизайна, ведь она дает практически неограниченные возможности для формирования предметно-пространственной среды [3].

Исходя из принципов разумного потребления, качествами продукта экологического дизайна должны быть: многофункциональность, модульность, трансформируемость, долговечность, гигиеничность, неподверженность моде, разумная экономичность. Гармоничный, природоморфный образ является актуальным для объекта экологического дизайна, что будет создавать психологический комфорт для потребителя [4].

Основными требованиями, предъявляемыми к изделиям, выполняемым в экостиле, являются: стремление к воссозданию природной среды в помещениях; безопасность в использовании изделия, т. е. применение природных натуральных материалов или материалов, безвредных для здоровья (нетоксичных, гипоаллергенных); использование цветовой гаммы, максимально приближенной к природной; использование бионических форм; возможность безопасной утилизации отходов и вторичного применения материалов (предмет, сделанный из натурального материала, во многих случаях может служить дольше, а затем его можно переработать); внедрение инновационных технологий обработки материалов, позволяющих сократить отрицательное влияние на окружающую среду. В своей диссертации "Феномен экологического дизайна: культурологический анализ" М.В. Панькина выделяет основные принципы экологического подхода в дизайне [5].

В целом теоретические основы экодизайна текстиля по многим направлениям находятся на начальной стадии разработки [6]. В связи с этим остро встает вопрос о создании методической базы для развития экологического проектирования как направления у нас в стране и за рубежом [7]. Необходимо отметить, что ведущую позицию в экологическом дизайне современного текстиля для интерьера занимают ковры. В то же время вопросы проектирования ковров, в частности ковров, создаваемых с учетом экологических трендов, практически не освещались в научной литературе. В зарубежных научных исследованиях рассматривались вопросы экопроектирования безотносительно к ассортименту ковров и их разработке или ковровые изделия без упоминания темы экологического дизайна.

Авторы данного исследования ранее обращались к вопросу проектирования ков-

ров в экологическом стиле, но материалы предыдущего анализа не имели такого разностороннего освещения [8].

Основными методами проводимого исследования являются структурно-графический метод, метод системного анализа, метод аналогий и синтезирования. Проведенный структурно-графический анализ современных ковров, используемых в экодизайне предметной среды, базируется на рассмотрении обширного числа отечественных и зарубежных производителей ковровых изделий. Он позволил выявить основные направления в их проектировании. Применение метода аналогий дало возможность определить образную составляющую, заимствованную при проектировании у природных прототипов. При помощи методов синтезирования и системного анализа составлена классификация современных ковровых изделий, выполненных в стиле экологического дизайна.

В ходе проведенного исследования выявлены и систематизированы направления в создании этого вида ковров для жилых и общественных пространств, в результате чего стала возможна их классификация и разделение на три основные группы: 1) органические, в которых присутствует непосредственная природная составляющая; 2) бионические ковры, в которых используются имитации рисунков, фактур и объемов, характерных для природных объектов и поверхностей; 3) перерабатываемые, которые могут быть выполнены из любого синтетического или натурального материала. Экологичность последних достигается благодаря переработке: утилизированных потребительских отходов, возникающих после завершения срока полезного использования изделий, включая одежду, автомобильную обивку, предметы домашнего обихода, пластиковые бутылки; производственных отходов, образуемых в процессе раскроя основных и декоративных текстильных материалов для одежды и интерьера [9]. Первые две группы, в свою очередь, делятся на 2 подгруппы: органические – на ковры из натуральных волокон (шерсть, лен, шелк, хлопок, джут, вискоза) и ковры из органических объектов; а бионические – на ковры, имитирующие природные объекты, и ковры, имитирующие природные поверхности, фактуры. Все группы представлены на рис. 1.

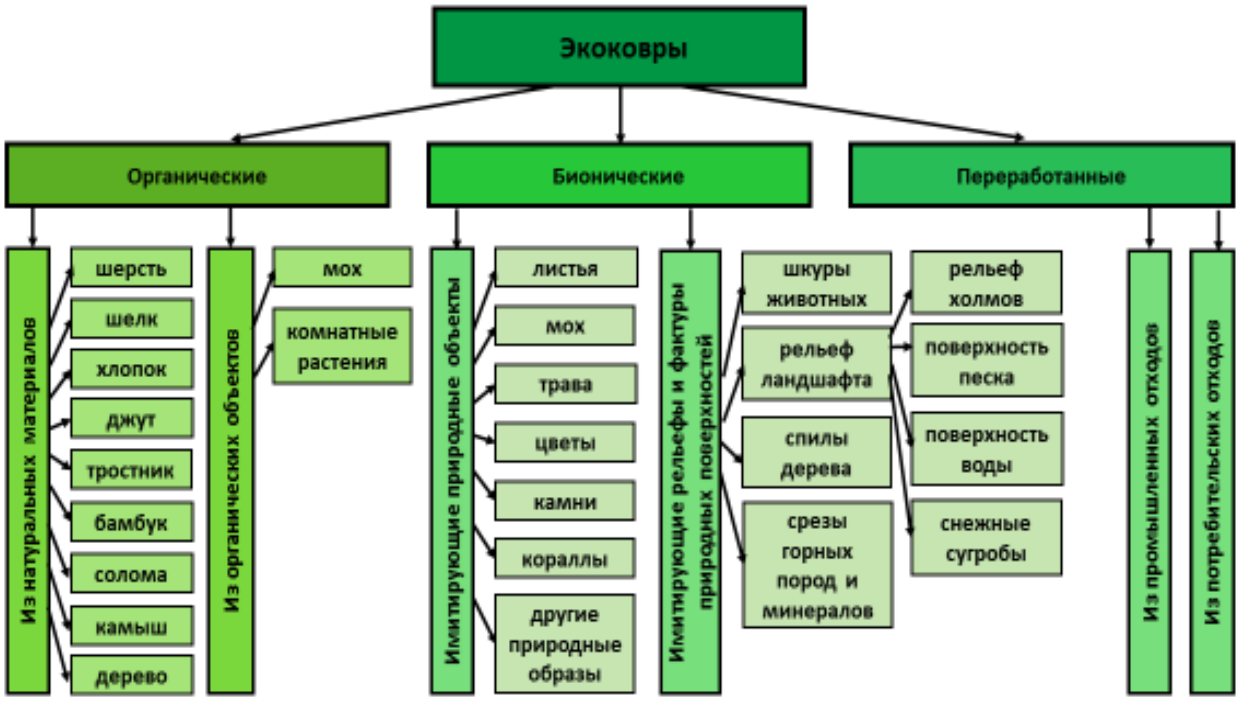


Рис. 1

Ковры из натуральных волокон и материалов. Сегодня традиционными коврами из шелка, шерсти и хлопка мало кого можно удивить. Поэтому производители уделяют внимание главным образом технологиям обработки сырья, благодаря которым процесс производства становится более безопасным по отношению к природе, а сырье приобретает характеристики, близкие по ощущениям к прикосновениям теплого мягкого песка, пушистого меха и нежнейшей травянистой поверхности газона. Это способствует созданию благоприятной атмосферы и релаксирующему эффекту. Такие ковры чаще всего создаются без орнамента с неоднородными переходами цветов.

В то же время возрастает популярность ковров с выраженными текстурными поверхностями. Одним из самых распространенных из них является циновка. Они могут изготавливаться из различных материалов, таких как лыко, солома, камыш, тростник и другие растительные волокна.

Кроме текстильных материалов, для производства ковров используется целый ряд нетрадиционных для них материалов, таких как дерево, пробка и т. д. Такие ковры состоят из целого набора отдельных элементов, собранных на плотную текстильную основу с применением модульного принципа.

Ковры из натуральных природных объектов. Самое новаторское направление в дизайне экологических ковров – применение живых растений. Ковер, созданный из сортов природного мха, оригинален и позволяет регулировать уровень влажности в помещении. Это так называемые фитоковры из стабилизированного мха. Они используются в виде вертикального озеленения, помогающего очищать воздух [10]. В настоящее время ассортимент растений, используемых в декорировании таких ковров, очень разнообразен. Их срок службы 7…10 лет. Они не требуют полива и абсолютно безопасны для детей и животных. Их привлекательной особенностью является технология монтажа природных объектов в изделие. Она может осуществляться по любой заданной форме. Сейчас фитоковры – это не только современный концепт решения экологического стиля в интерьере, но и востребованный объект в интерьерах различного назначения.

Ковры, имитирующие природные объекты. Эти ковры не всегда созданы из экологически чистых материалов, но своим видом и цветом они напоминают объекты природной среды – чистые и не загрязненные деятельностью человека.

1. *Имитация листвы*. Это могут быть ковры, имитирующие поверхность, засыпанную зелеными листьями. Известен пример дизайна компании Nani Marquina, в котором все листья вырезаны из войлока и пришиты к основе. Элементы ковра подвижны, благодаря чему ковер выглядит очень натурально.

2. *Имитация мха.* Объемные эффекты разноуровневых кочек мха создаются в коврах в технике тафтинга с различной высотой ворса.

3. *Имитация травы*. Ковры имитируют зеленую траву. Эффект получается благодаря применению толстых пряж или длинных полосок фетра и войлока. Травинки получают за счет длинного ворса техники тафтинга или рукотворного их вплетения в прочную основу.

4. *Ковры-цветы*. Такие ковры представляют собой фронтальное изображение различных цветов. Небольшой формат ковра-цветка может украсить любой интерьер – от детской до спальни. Технология изготовления таких ковров преимущественно ткацкая.

5. *Имитация камней*. Создание объема выполняется в коврах при помощи самых различных технологий. Например, посредством технологии валяния формируют объемные округлые формы камней, которые сшивают между собой. Их массажный эффект позволяет использовать их в детских комнатах.

Другая технология – современное жаккардовое ткачество – позволяет создавать разноуровневый ворс, формируя при этом объемы, схожие с полусферами. Таким образом можно создавать камни и гальку лю-

бого размера. При этом поверхность приятна на ощупь, ей невозможно пораниться.

Имитация камней возможна и за счет технологии 3d-печати экологичными красителями. Ее инновационные возможности позволяют не только перенести изображение камней на поверхность материала с полиамидным ворсом с высокой точностью и схожестью относительно аналога, но и использовать ворс разной длины, обеспечивая полное его окрашивание. Такая технология позволяет получать износостойкие изделия, используемые в прихожих и в местах массового назначения, торговых, демонстрационных и спортивных помещениях.

6. *Имитация кораллов*. Такие ковры с крупным фактурным ворсом имитируют яркие подводные водоросли. Цветовая гамма изделий близка к расцветке кораллов. Ковер собран из свалянных из фетра трубочек. Эти ковры очень сложно содержать в чистоте, но зато они создают особые тактильные ощущения и используются в зонах "релакса".

7. *Создание других природных образов*. Одним из примеров таких ковров является ковер-бабочка. Его ткут с использованием утка, состоящего из объемной фактурной пряжи. Сама форма бабочки состоит из двух разноцветных частей, сшитых между собой. Такой ковер является двусторонним. Стороны можно по желанию менять.

Другим примером ковров, воссоздающих природные образы, являются так называемые ковры-"сэндвичи", выпускаемые фирмой ТамиТафт. Они состоят из трех слоев материала: полиэфирной велюровой поверхности в верхнем слое, пенополиуретана в среднем слое и нетканого материала в нижнем. Верхний слой этого ковра позволяет печатать на нем фотореалистичные изображения, например, пейзажи различных регионов нашей планеты.

Последние несколько лет становится популярным направление 3d природных изображений, таких как небо, облака, садовые дорожки, цветочные клумбы и т. д.

Ковры, имитирующие рельефы и фактуры природных поверхностей. Такие ковры-имитаторы являются самыми популярными среди рассматриваемого ассортимента. По форме и характеру поверхности они близки к природным аналогам. По характеру имитации можно выделить следующие группы:

1. *Рельефы ландшафта.* В большинстве предлагаемых на рынке вариантов элементы природного ландшафта создаются за счет различной высоты выстригаемого ворса, передают ритмы природных поверхностей. Вариантами ландшафтных рельефов могут являться имитации заснеженных поверхностей, рисунки песка, разводы и волны на воде. Наибольшая выразительность достигается за счет "перетекания" цвета в цвет или тона в полутон. Сделаны такие ковры из пенистой резины и войлока. В то же время интересным дизайнерским решением является ковер-мебель. Оно представляет собой соединение в одном изделии конструкции из пенистой резины, напоминающей объемные холмы, и войлочного ковра, их покрывающего. На таком ковре удобно сидеть, читать или смотреть телевизор.

2. *Спилы дерева*. Для имитации спилов деревьев существует два варианта: в первом – рисунок спила дерева воссоздается при помощи цифровой печати, во втором – ковры получают при помощи ткачества. Имитация трещин и ощущение поперечного среза ствола дерева создается также за счет разноуровневого ворса.

3. *Срезы горных пород и минералов*. Для современных дизайнов ковров художники все чаще используют рисунки отшлифованных горных пород и минералов, масштабированные до размера готового изделия. Сложные переходы цветов, ритмы изгибающихся линий создают необходимую ассоциацию с нужным минералом. Такие варианты ковров встречаются преимущественно небольшого размера, их форма имеет достаточно сложную конфигурацию, поэтому выполняются они в технике тафтинга.

4. *Шкуры животных.* Наибольшей популярностью в последнее время стали пользоваться шкуры рептилий с максимально масштабированными рисунками. Ковры, имитирующие более привычные

объекты, такие как шкуры зебры, тигра, леопарда, медведя, жирафа, актуальны как естественных цветов окраса животных, так и в современной цветовой гамме. Эти ковры могут полностью имитировать шкуры-трофеи либо представлять собой традиционные прямоугольные и круглые формы.

ВЫВОДЫ

1. Экодизайн ковров неразрывно связан с природной тематикой и использует натуральные материалы, такие как шерсть, шелк, хлопок и др., которые имитируют мягкие природные поверхности типа мха и жесткие наподобие камня.

2. Современный экодизайн ковров ориентирован на психологический комфорт, способствующий расслаблению и полноценному отдыху.

3. Современный экодизайн ковровых изделий включает в себя не только использование природных материалов и бионических форм, но и инновационные, более экологичные технологии производства.

4. Разработанная авторами классификация предоставляет дизайнерам понимание и широту возможностей выбора ковровых изделий, отвечающих данному направлению, что позволяет осуществлять подход к проектированию интерьера на качественно новом уровне.

5. При создании дизайнов экоковров в настоящее время используется целый ряд традиционных техник и современных технологий, включающий ручное плетение и жаккардовое ткачество, валяние, тафтинг и цифровую печать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Панкина М.В., Захарова С.В.* Экологический дизайн как направление современного дизайна. Определение понятия // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. – URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=9670 (дата обращения: 25.08.2025).

2. *Уваров А.В.* Экологический дизайн. История, теория и методология. М.: Совпадение, 2015. С. 5.

3. *Чембаров Е.А*. Экодизайн как новое направление в дизайне. – URL: https://cyberleninka.ru /article/n/ekodizayn-kak-novoe-napravlenie-v-dizayne/viewer (дата обращения: 13.01.2025).

4. *Сыропятова М.В.* О проблемах становления экологического дизайна в России // Молодой ученый. 2017. №5. С. 553…555. – URL: https://moluch.ru/archive/139/39116/ (дата обращения: 19.08.2025).

5. *Панькина М.*В. Феномен экологического дизайна: культурологический анализ: дис. ... д-ра культорологии. Екатеринбург, 2016.

6. *Ли Д.* Экологический дизайн и его место в гармонизации отношений "человек – природа" // Современные аспекты диалога литературы, музыки и изобразительного искусства в западноевропейской и отечественной музыкальной культуре. Краснодар: Новация, 2022. С. 215…222. – EDN PQBQUP.

7. *Сосунова И.А.* Экодизайн в России: социально-технические аспекты и проблемы развития // Вестник международной академии наук (русская секция). 2015. № 1. – http://www.heraldrsias.ru /download/articles/13_Sosunova.pdf (дата обращения: 19.08.2025).

8. *Кузнецова А.Н., Морозова Е.В.* Основные направления в экодизайне современных ковров // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Кострома: КГУ, 2020. Ч. 1. С. 53…56.

9. *Алибекова М.И., Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В.* Апсайклинг и ресайклинг как способ реализации дизайнерской концепции в художественном проектировании костюма // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1(397). С. 305…310. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_ 1_305. – EDN YYBILI.

10. *Бутунина Л.В.* Экодизайн – решение проблем экологии // Аксиологические проблемы педагогики. 2022. № 13. С. 27…33. – EDN TARXJX.

REFERENCES

1. *Pankina M.V., Zakharova S.V.* Ecological design as a trend of modern design. Definition of the concept // Modern problems of science and education. 2013. No. 4. – URL: http://science-education.ru /ru/article/view?id=9670 (date of access: 25/08/2025).

2. *Uvarov A.V.* Ecological design. History, theory and methodology. M.: Coincidence, 2015. P. 5.

3. *Chembarov E.A.* Ecodesign as a new direction in design. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n /ekodizayn-kak-novoe-napravlenie-v-dizayne/viewer (date of reference: 13/01/2025).

4. *Syropyatova M.V.* On the problems of the formation of ecological design in Russia // Young scientist. 2017. No. 5. Pp. 553…555. – URL https://moluch.ru/archive/139/39116/ (date of access: 19.08.2025).

5. *Pankina M.V.* Phenomenon of ecological design: cultural analysis// dissertation for the academic degree of doctor of Cultural Studies. Ekaterinburg, 2016.

6. *Lee D.* Ecological design and its place in the harmonization of human-nature relations // Modern aspects of the dialogue of literature, music and fine arts in Western European and Russian musical culture. Krasnodar:

Novatsiya Publishing House, 2022. pp. 215…222. – EDN PQBQUP.

7. *Sosunova I.A.* Ecodesign in Russia: Socio-technical Aspects and Development Problems // Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian Section). 2015 No. 1. – URL: http://www.heraldrsias.ru/download/articles/13_Sosunova.pdf (accessed: 19.08.2025).

8. *Kuznetsova A.N., Morozova E.V.* Main trends in eco-design of modern carpets // Scientific research and development in the field of design and technology. Kostroma: KSU, 2020. Part 1, pp. 53…56.

9. *Alibekova M.I., Belgorodsky V.S., Andreeva E.G., Getmantseva V.V.* Upcykling and recycling as a way to implement the design concept in the artistic design of the costume // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 1(397). Pp. 305…310. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_1_305. – EDN YYBILI.

10. *Butunina L.V.* Ecodesign – a solution to environmental problems // Axiological problems of pedagogy. 2022. No. 13. pp. 27…33. – EDN TARXJX.

Рекомендована кафедрой декоративно-прикладного искусства и художественного текстиля РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 25.11.25.

УДК 004.9
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_336

ОГРАНИЧЕНИЯ СПЛОШНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АРАМИДНОЙ НИТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОПЕРЕЧНОГО СЖАТИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

LIMITATIONS OF SIMPLIFIED THREAD REPRESENTATION OF ARAMID YARN IN FINITE ELEMENT MODELING OF TRANSVERSE COMPRESSION

А.П. ГРЕЧУХИН, А.С. РАЗИНА, П.Н. РУДОВСКИЙ, А.В. КУЛИКОВ, М.А. ТУМАНОВ, В.А. БРЕЗГИН

A.P. GRECHUKHIN, A.S. RAZINA, P.N. RUDOVSKY, A.V. KULIKOV, M.A. TUMANOV, V.A. BREZGIN

(Костромской государственный университет)

(Kostroma State University)

E-mail: niskstu@yandex.ru

В статье рассмотрен процесс моделирования поперечного сжатия арамидной нити Twaron 161 текс пластинами. Нить, состоящая из 1000 филаментов, представлена шестью способами: моделями с 10, 20, 40, 80 и 1000 филаментами, а также сплошным телом без внутренней филаментной структуры. Для редуцированных дискретных моделей эквивалентные диаметры филаментов выбирались из условия сохранения линейной плотности и суммарной площади поперечного сечения материала. Сравнение выполнялось по деформированным формам нити и зависимостям реакции пластин от перемещения. Показано, что по мере увеличения числа филаментов результаты последовательно сходятся к эталонной 1000-филаментной модели, тогда как сплошное тело демонстрирует качественно иной механизм деформирования и завышенную поперечную жесткость. Сделан вывод о том, что при последующем моделировании ткани использование нити как сплошного тела будет физически некорректным, поскольку не учитывает межфиламентные контакты, внутреннюю перестройку структуры и изменение формы поперечного сечения при сжатии.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00164, https://rscf.ru/project/25-29-00164/

This paper investigates the transverse compression of a Twaron 161 tex aramid yarn between rigidwall plates in LS-DYNA. The yarn consisting of 1000 filaments was represented in six different ways: discrete models with 10, 20, 40, 80, and 1000 filaments, as well as a solid body without internal filament structure. For the reduced discrete models, equivalent filament diameters were selected to preserve the linear density and the total material cross-sectional area. The comparison was carried out using deformed yarn shapes and rigidwall reaction force curves versus displacement. It is shown that, as the number of filaments increases, the results converge toward the reference 1000-filament model, whereas the solid body exhibits a qualitatively different deformation mechanism and an overestimated transverse stiffness. It is concluded that representing a yarn as a solid body is physically inadequate for subsequent fabric-level simulations, since such an approach neglects inter-filament contacts, internal structural rearrangement, and cross-sectional shape evolution during compression.

Ключевые слова: арамидная нить, поперечное сжатие, филаменты, контактные взаимодействия, моделирование ткани, деформирование нити, поперечная жесткость.

Keywords: aramid yarn, transverse compression, filaments, contact interactions, fabric modeling, yarn deformation, transverse stiffness.

Введение

Моделирование текстильных материалов в настоящее время выполняется на различных структурных уровнях – от макроскопических континуальных моделей ткани до детализированных моделей отдельных нитей и филаментов [1…6]. Такой подход особенно востребован при анализе ударных воздействий, локального уплотнения, деформирования в зонах контакта и при исследовании механики технических тканей [7, 8]. Для решения подобных задач в современной вычислительной практике широко применяются специализированные программные комплексы, алгоритмы которых позволяют корректно учитывать большие перемещения, сложные контактные взаимодействия, различные виды нелинейности, а также использовать явную схему интегрирования по времени [2, 4, 9, 10].

При переходе к моделированию ткани на уровне нитей возникает важный вопрос о допустимой степени упрощения геометрии нити. Реальная арамидная нить представляет собой пучок большого числа отдельных филаментов, взаимодействующих между собой через контакт и трение. Поэтому ее механический отклик, особенно при поперечном нагружении, определяется не только свойствами материала, но и структурными эффектами: перестройкой филаментов, изменением пористости, перераспределением контактных усилий и локальным проскальзыванием [11, 12].

Именно поперечная податливость нити играет ключевую роль при последующем моделировании ткани [13, 14]. В местах переплетения при взаимном сжатии нитей и локальном контактном воздействии нить фактически работает как дискретный деформируемый пучок. От того, насколько корректно воспроизводится изменение формы ее поперечного сечения, зависят контактная площадь, уровень контактных напряжений, сила трения между нитями и в конечном итоге жесткость тканой структуры [15…17].

В практических расчетах нередко стремятся заменить реальную филаментную структуру нити упрощенной моделью, например сплошным телом, либо дискретной моделью с существенно меньшим числом эквивалентных филаментов [18…20]. Такое упрощение позволяет снизить вычислительные затраты, однако может привести к искажению механического отклика. Поэтому перед построением моделей ткани необходимо оценить, насколько допустимо

уменьшение числа филаментов и можно ли в принципе использовать сплошное представление нити.

Целью настоящей работы является сравнительное исследование участка нити, сжимаемой между пластинами, в зависимости от способа представления ее при моделировании. Рассматриваются модели с 10, 20, 40, 80 и 1000 филаментами, а также модели сплошного тела без внутренней филаментной структуры.

Методы

В качестве объекта исследования рассматривалась арамидная нить Twaron с линейной плотностью 161 текс, состоящая из 1000 филаментов. При построении геометрической модели использовалось условие сохранения линейной плотности нити при известной плотности материала филаментов, которая составляла ρ =1,44 г/см^3.

Суммарная площадь S поперечного сечения нити определяется по формуле:

$$S = \frac{T \cdot 10^{-6}}{\rho \cdot V_f}, \text{м}^2, \qquad (1)$$

где T – линейная плотность нити, текс; V_f – объемная доля филаментов в нити.

Исходное поперечное сечение сплошной нити представлено окружностью с диаметром:

$$d = 2000\sqrt{\frac{S}{\pi}}. \qquad (2)$$

Диаметр одного филамента определялся из условия сохранения суммарной площади поперечного сечения. При разделении нити на n филаментов площадь S_f каждого из них составит:

$$S_f = \frac{S}{n}. \qquad (3)$$

Диаметр d_f каждого филамента определялся по формуле:

$$d_f = 2000\sqrt{\frac{S_f}{\pi}}. \qquad (4)$$

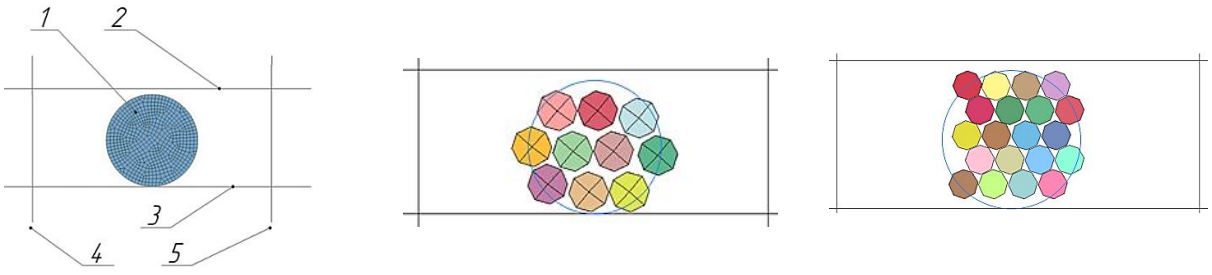
Таким образом, при изменении числа филаментов сохранялись линейная плотность нити и общий объем материала, а изменялся только уровень дискретизации внутренней структуры.

Параметры вариантов представления нити сведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант модели	Число филаментов	Объемная доля волокна V_f	Расчетный диаметр одного филамента, мм
10 филаментов	10	0,9	0,12570
20 филаментов	20	0,9	0,08886
40 филаментов	40	0,9	0,06282
80 филаментов	80	0,9	0,04442
1000 филаментов	1000	0,9	0,01256
Сплошное тело	1	0,8	0,4215

Во всех вариантах моделировался фрагмент нити, помещенный между четырьмя жесткими пластинами (рис. 1 – исходная конфигурация нити: а – однофиламентная; б – десятифиламентная; в – двадцатифиламентная).



а) б) в)

Рис. 1

Пластины 3, 4, 5 жестко закреплены, а пластина 2 перемещается вертикально, обеспечивая поперечное сжатие нити. Расстояние между пластинами 4 и 5 составляло 1,2 мм. Оно выбиралось таким образом, чтобы при завершении перегруппировки филаментов в результате деформирования образца филаменты в самой грубой 10-филаментной модели размещались в один слой.

При расчетах во всех вариантах назначались одинаковые граничные условия, идентичные параметры материала и одинаковые настройки контактного взаимодействия. Такой подход позволял определить именно влияние способа представления нити на результат расчетов, исключив влияние иных факторов.

В моделях учитывались межфиламентные контакты, а также контакт филаментов с пластинами. В модели сплошного тела (рис. 1, а) внутренние контакты отсутствовали, и деформирование определялось только свойствами материала и внешним контактом с пластинами. Во всех случаях расчеты выполнялись в среде LS-DYNA с использованием явной схемы интегрирования, широко применяемой при решении нелинейных контактных задач [4, 6, 10].

Каждый филамент, за исключением представления нити в виде сплошного тела, разбит в поперечном сечении на 4 конечных элемента (рис. 1, а и б). Длина конечного элемента составляла 1,5 диаметра филамента. Размер элемента был выбран как компромисс между точностью и затратами вычислительных ресурсов. Дальнейшее измельчение сетки не приводит к принципиальному изменению выводов статьи, но существенно увеличивает число конечных элементов и время расчета.

Сплошная нить представлена бóльшим количеством элементов, и длина их составляла 0,1 диаметра нити (рис. 1, а). Длина образца составляла 25 мм.

При моделировании используется восьмиузловой конечный элемент с одной точкой интегрирования. Для всех частей установлен тип контакта AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE на основе контакта сегмент-сегмент с коэффициентом вязкого демпфирования 0,1 (10%). Коэффициент трения установлен 0,17. Критерии разрушения в данном расчете не предусмотрены, т. к. необходимо качественно оценить характер поведения материала. Скорость 10 м/с является расчетным параметром явной динамической постановки LS-DYNA и выбрана для обеспечения приемлемого времени расчета при сохранении сопоставимого механизма деформирования во всех вариантах модели. Поскольку целью работы является сравнительная оценка способа представления нити, все варианты рассчитывались при одинаковой скорости нагружения.

Для филаментов использована модель ортотропного материала с параметрами согласно табл. 2.

Таблица 2

Модули упругости, ГПа	
E_x	105
E_y	1
E_z	1
Модули сдвига, ГПа	
G_{xz}	0,25
G_{xy}	0,25
G_{yz}	0,25
Коэффициенты Пуассона	
ν_{xz}	10^{-7}
ν_{xy}	10^{-7}
ν_{yz}	0,99

На рис. 2 представлены полученные в результате расчетов деформированные состояния нити для всех рассмотренных вариантов моделирования на момент завершения перегруппировки структуры в многофиламентных моделях (а – монофиламентная модель; б – модель с 10 филаментами; в – модель с 20 филаментами; г – модель с 40 филаментами; д – модель с 80 филаментами; е – модель с 1000 филаментами).

На рис. 1, а видно, что при моделировании нити одним филаментом, в отличие от всех других моделей, нить в поперечном сечении не занимает всю площадь между пластинами.

Такое поведение нити при ее моделировании сплошным телом отмечается многими авторами [17, 18]. Таким образом, монофиламентная модель нити неадекватно описывает поведение филаментной нити.

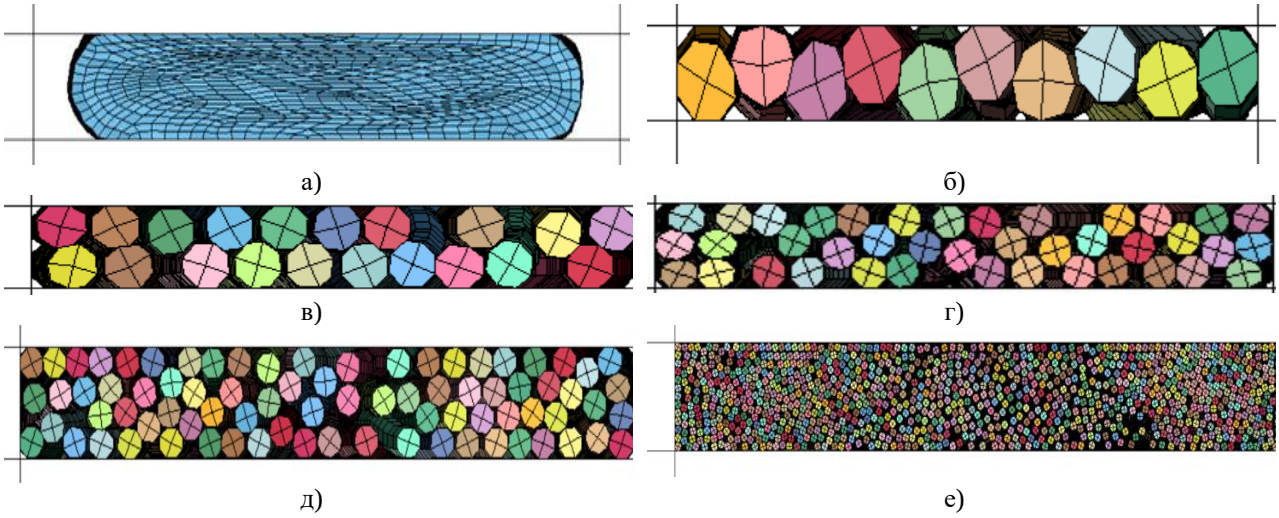


Рис. 2

В литературе [17, 18] для повышения адекватности поведения нити при сжатии предлагается существенно изменить поперечную и сдвиговую жесткость нити. В частности, поперечные модули упругости снижают в 100 раз относительно продольного модуля, а модули сдвига – в 1000 раз.

Такое снижение модулей сдвига обусловлено необходимостью обеспечить сжатие нити, близкое к наблюдаемому, и возможность устранения хрупкого разрушения при моделировании.

В нашем случае для оценки влияния упругих параметров на поведение нити, представленной одним филаментом, расчеты проводились с использованием модулей упругости $E_y = E_z = 0{,}1$ ГПа и модулей сдвига $G_{xz} = G_{xz} = G_{xz} = 0{,}025$ ГПа. Деформированная модель нити для такой модели материала показана на рис 3. Требуемое расплющивание поперечного сечения нити не достигается. Уменьшение модулей сдвига при этом приводит к значительным искажениям конечных элементов, что существенно ухудшает качество конечно-элементной сетки.

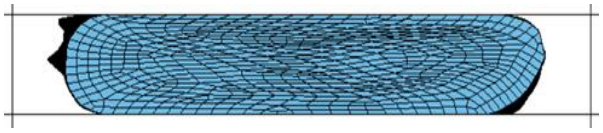


Рис. 3

Результаты и обсуждение

В качестве основного критерия сравнения рассматриваемых моделей использовалась зависимость реакции верхней пластины (силы сжатия) от деформации сжатия (перемещения пластины). На рис. 4 представлены зависимости для всех рассмотренных моделей.

Из приведенных зависимостей видно, что процесс сжатия для моделей нити, представленных одним филаментом (кривые 1, 2), существенно отличается от сжатия многофиламентных моделей. В случае сжатия одного филамента процесс его деформирования начинается практически сразу. При сжатии многофиламентных моделей сначала происходит процесс перегруппировки филаментов, в результате которого они при сжатии образца на 2,5 мм заполняют всю площадь поперечного сечения между плоскостями (рис. 2, б-е). В указанном диапазоне деформаций сила сжатия нестабильна. Это связано с образованием в процессе перегруппировки филаментов относительно устойчивых структур, которые сопротивляются сжатию, что проявляется в виде локальных максимумов на кривых 3-7. После разрушения этих структур реакция плоскости 2 снижается практически до нуля.

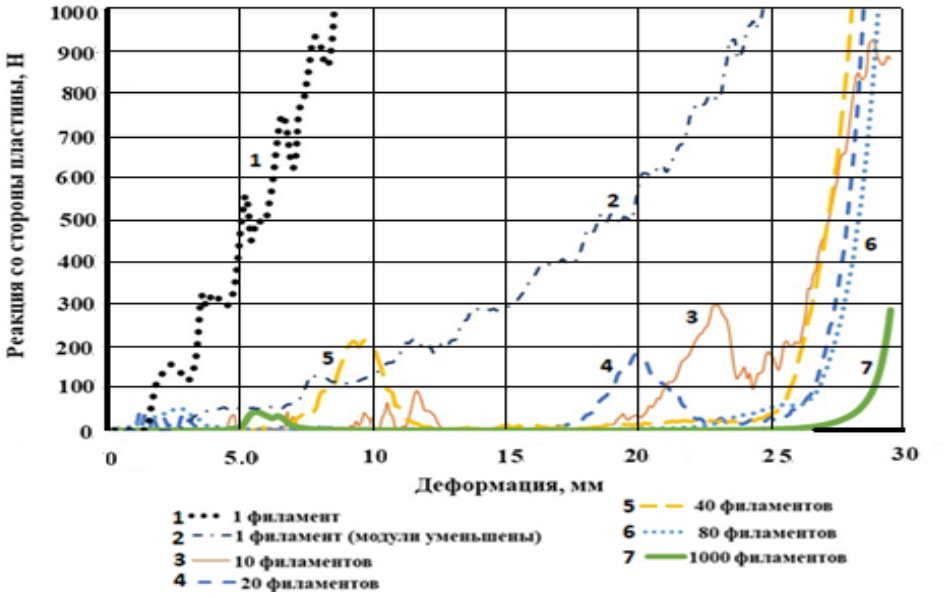


Рис. 4

В вариантах с 10, 20 и 40 филаментами сжатие реализуется через сравнительно небольшое число крупных контактных зон. Формирующиеся структуры более устойчивы и способны воспринимать бóльшие нагрузки (кривые 3-5 на рис. 4). Таким образом, изменение формы поперечного сечения происходит достаточно грубо, а внутренняя перестройка структуры оказывается чрезмерно упрощенной. Однако такие модели способны воспроизводить факт сплющивания нити.

При увеличении числа эквивалентных филаментов до 80 и более структура деформирования становится существенно более развитой. Формируется большее число внутренних контактов, усиливается возможность взаимного перераспределения филаментов, а контур деформированного поперечного сечения все в большей степени приближается к эталонной 1000-филаментной модели. В этих вариантах уже наблюдаются характерные для реальной нити эффекты: постепенное закрытие внутреннего порового пространства, локальное уплотнение и выраженное поперечное расширение при сжатии.

Наиболее физически содержательное поведение демонстрирует модель с 1000 филаментами. Именно в ней в наибольшей степени проявляется механизм дискретного структурного уплотнения, обусловленный взаимодействием большого числа отдельных элементов нити.

Качественно иной характер деформирования имеет модель сплошного тела. В ней отсутствуют межфиламентное скольжение, локальная перестройка структуры и внутренняя контактная нелинейность. В результате изменение формы поперечного сечения определяется только деформацией сплошного материала. Уже на уровне визуального анализа видно, что контур нити, ширина контактной зоны отличаются от дискретных вариантов.

Для моделей характерна выраженная нелинейность. На начальной стадии нагружения наблюдается сравнительно более податливый участок, связанный с внутренней структурной перестройкой и уменьшением пористости пучка филаментов. По мере дальнейшего сжатия реакция возрастает интенсивнее, поскольку увеличиваются число контактов и плотность упаковки филаментов.

По мере увеличения числа филаментов кривые реакции закономерно сходятся к эталонной 1000-филаментной зависимости. Схожие значения реакции наблюдаются для моделей с 10, 20 и 40 филаментами. Модели с 80 и 1000 филаментами имеют существенно более низкие значения реакций в пластинах, а значит, легко изменяют форму в поперечном направлении.

На этом фоне модель сплошного тела демонстрирует принципиально иную силовую реакцию. Для нее характерно отсутствие выраженной стадии структурной податливости, а поперечная жесткость оказывается завышенной на значительной части интервала нагружения. Иными словами, даже если такая модель удобна с вычислительной точки зрения, она не воспроизводит сам физический механизм поперечного деформирования.

Этот результат имеет прямое значение для последующего моделирования ткани. В любой тканой структуре каждая зона контакта нитей фактически представляет собой локальную задачу поперечного сжатия. Если нить моделировать как сплошное тело, то будут искажены форма контактной площадки, величина локального контактного давления, условия взаимного проскальзывания нитей и, как следствие, эффективная жесткость всей ткани. Ошибка, возникающая на уровне отдельной нити, неизбежно переносится на модель тканой структуры и накапливается во множестве узлов переплетения.

Сплошное представление нити в ряде задач нельзя считать допустимым, особенно при моделировании тканей, в которых присутствует боковой изгиб нитей и сильное расплющивание поперечного сечения, – в таком случае в модели ткани будут большие поры. Для ряда инженерных постановок упрощенные модели могут быть вполне приемлемыми, например, при моделировании композитов на основе тканей.

От степени дискретизации модели существенно зависят затраты вычислительных ресурсов. В табл. 3 приведены начальный и конечный шаги по времени, количество элементов в модели и время расчета.

Таблица 3

	1 филамент	1 филамент (снижены модули)	10 филаментов	20 филаментов	40 филаментов	80 филаментов	1000 филаментов
Начальный шаг по времени, 10^{-10}с	7,54	7,54	0,408	0,288	0,196	0,139	3,92
Конечный шаг по времени, 10^{-10}с	2,00	2,63	0,276	0,260	0,170	0,129	3,65
Количество элементов	346896	346896	5320	15952	42560	120320	5308000
Время расчета, с	1627	1171	6	15	107	7633	106452

Из табл. 3 видно, что однофиламентная модель не дает преимущества с точки зрения затрат вычислительных ресурсов даже в сравнении с моделью, содержащей 80 филаментов. Для ее реализации требуется почти в три раза большее количество конечных элементов и в два раза большее время расчета.

Модели с 20 и 40 филаментами имеют еще большую эффективность при приемлемой затрате вычислительных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Модель нити в виде сплошного тела демонстрирует механизм деформирования, качественно отличающийся от реального процесса. Такая постановка не воспроизводит межфиламентные контакты, структурную перестройку и изменение формы поперечного сечения.

2. Показано, что однофиламентная модель нити даже при существенном снижении упругих параметров в поперечном направлении не позволяет адекватно описывать ее сжатие.

3. Многофиламентная структура модели позволяет учесть определяющее влияние межфиламентного взаимодействия как на деформационное поведение, так и на зависимость силы от деформации.

4. Выбор степени дискретизации зависит от конкретной задачи. Если предполагается умеренное изменение поперечного

размера нити, то использование от 20 до 80 филаментов оправдано как с точки зрения физики процесса, так и с точки зрения рационального использования вычислительных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Xie J., Guo Z., Shao M. etc.* Mechanics of textiles used as composite preforms: A review // Composite Structures. 2023. Vol. 304. Part 2. Article 116401. DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.116401.

2. *Fang J., Chen L., Xie J. etc. A* review of fiber-scale modeling for composite preforms // Composite Structures. 2025. Vol. 370. Article 119362. DOI: 10.1016/j.compstruct.2025.119362.

3. *Boisse P., Hamila N., Madeo A.* The difficulties in modeling the mechanical behavior of textile composite reinforcements with standard continuum mechanics of Cauchy. Some possible remedies // International Journal of Solids and Structures. 2018. Vol. 154. P. 55…65. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.12.019.

4. *Wang D., Naouar N., Vidal-Sallé E., Boisse P.* Longitudinal compression and Poisson ratio of fiber yarns in meso-scale finite element modeling of composite reinforcements // Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 141. P. 9…19. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.12.042.

5. *Sun X., Belnoue J.P.-H., Thompson A. etc.* Dry Textile Forming Simulations: A Benchmarking Exercise // Frontiers in Materials. 2022. Vol. 9. Article 831820. P. 1…20. DOI: 10.3389/fmats.2022.831820.

6. *Sockalingam S., Gillespie J.W. Jr., Keefe M.* On the transverse compression response of Kevlar KM2 using fiber-level finite element model // International Journal of Solids and Structures. 2014. Vol. 51. No. 13. P. 2504…2517. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2014.03.020.

7. *Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A.* Carbon fabric 3D modeling according to nonlinear bending theory // The Journal of the Textile Institute. 2020. Т. 111. № 10. С. 1511…1517.

8. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* New geometrical model of woven fabric taking into account the change of its form, size and lateral bending. Fibers and Textiles in Eastern Europe. 2021. Т. 29. № 2. С. 20…24.

9. *Lim B.H., Chu J.-M., Chen W.* Mechanical Behavior of High-Performance Yarns Transversely Loaded by Different Indenters // Fibers. 2018. Vol. 6. No. 4. Article 69. P. 1…10. DOI: 10.3390/fib6040069.

10. *Wang Y., Jiao Y., Wu N. etc.* An efficient virtual modeling regard to the axial tensile and transverse compressive behaviors of the twisted yarns // Journal of Industrial Textiles. 2022. Vol. 52. Article 15280837221137353. DOI: 10.1177/15280837221137353.

11. *Гречухин А.П., Рудовский П.Н.* Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. Кострома: Изд-во Костромского гос. ун-та, 2017. 171 с. – ISBN: 978-5-8285-0917-12017

12. *Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н.* Методика построения трехмерной модели ткани из углеродных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 140…144.

13. *Gu Q., Quan Z., Yu J.* A new algorithm to generate randomly distributed fibers within the fiber bundle and numerical investigation of bundle cross-sectional performances in transverse compression // Journal of Industrial Textiles. 2023. Vol. 53. Article 15280837231195242. – DOI: 10.1177/15280837231195242.

14. *El Messiry M., Eltahan E.* Analysis of the transverse compressive behavior of cotton yarns and fabrics // Journal of Industrial Textiles. 2023. Vol. 53. Article 15280837231176859. – DOI: 10.1177 /15280837231176859.

15. *Thompson A.J., El Said B., Ivanov D. etc.* High fidelity modelling of the compression behaviour of 2D woven fabrics // International Journal of Solids and Structures. 2018. Vol. 154. P. 104…113. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2017.06.027.

16. *Daelemans L., Tomme B., Caglar B. etc.* Kinematic and mechanical response of dry woven fabrics in through-thickness compression: Virtual fiber modeling with mesh overlay technique and experimental validation // Composites Science and Technology. 2021. Vol. 207. Article 108706. P. 1…12. – DOI: 10.1016/j.compscitech.2021.108706.

17. *Rao M.P., Duan Y., Keefe Michael etc.* (2009). Modeling the effects of yarn material properties and friction on the ballistic impact of a plain-weave fabric. Composite Structures - COMPOS STRUCT. 89. 556-566. 10.1016/j.compstruct.2008.11.012.

18. *Gasser A., Boisse Philippe, Hanklar S.* (2000). Mechanical behaviour of dry fabric reinforcements. 3D simulations versus biaxial tests. Computational Materials Science. 17. 7-20. 10.1016/S0927-0256(99)00086-5.

19. *Рудовский П.Н., Гречухин А.П., Палочкин С.В.* Рациональное армирование деталей из композиционных материалов тканями с переменной плотностью по утку // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2015. № 2 (35). С. 21…23.

20. *Гречухин А.П., Хабибуллоев А., Рудовский П.Н. и др.* Методика 3D-моделирования трехмерных ортогональных тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 133…138.

REFERENCES

1. *Xie J., Guo Z., Shao M. etc.* Mechanics of textiles used as composite preforms: A review // Composite Structures. 2023. Vol. 304. Part 2. Article 116401. DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.116401.

2. *Fang J., Chen L., Xie J. etc.* A review of fiber-scale modeling for composite preforms // Composite Structures. 2025. Vol. 370. Article 119362. DOI: 10.1016/j.compstruct.2025.119362.

3. *Boisse P., Hamila N., Madeo A.* The difficulties in modeling the mechanical behavior of textile composite reinforcements with standard continuum mechanics of Cauchy. Some possible remedies // International Journal of Solids and Structures. 2018. Vol. 154. P. 55…65. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.12.019.

4. *Wang D., Naouar N., Vidal-Sallé E., Boisse P.* Longitudinal compression and Poisson ratio of fiber yarns in meso-scale finite element modeling of composite reinforcements // Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 141. P. 9…19. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.12.042.

5. *Sun X., Belnoue J.P.-H., Thompson A. etc.* Dry Textile Forming Simulations: A Benchmarking Exercise // Frontiers in Materials. 2022. Vol. 9. Article 831820. P. 1…20. DOI: 10.3389/fmats.2022.831820.

6. *Sockalingam S., Gillespie J.W. Jr., Keefe M.* On the transverse compression response of Kevlar KM2 using fiber-level finite element model // International Journal of Solids and Structures. 2014. Vol. 51. No. 13. P. 2504…2517. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2014.03.020.

7. *Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A.* Carbon fabric 3D modeling according to nonlinear bending theory. The Journal of the Textile Institute. 2020. T. 111. № 10. C. 1511…1517.

8. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* New geometrical model of woven fabric taking into account the change of its form, size and lateral bending. Fibers and Textiles in Eastern Europe. 2021. T. 29. № 2. C. 20…24.

9. *Lim B.H., Chu J.-M., Chen W.* Mechanical Behavior of High-Performance Yarns Transversely Loaded by Different Indenters // Fibers. 2018. Vol. 6. No. 4. Article 69. P. 1…10. DOI: 10.3390/fib6040069.

10. *Wang Y., Jiao Y., Wu N. etc.* An efficient virtual modeling regard to the axial tensile and transverse compressive behaviors of the twisted yarns // Journal of Industrial Textiles. 2022. Vol. 52. Article 15280837221137353. DOI: 10.1177/15280837221137353.

11. *Grechukhin A.P., Rudovsky P.N.* Development of the theory of structure and formation of single-layer fabrics. Kostroma: Kostroma State University Press, 2017. 171 p. ISBN: 978-5-8285-0917-1.

12. *Grechukhin A.P., Zaytsev D.V., Ushakov S.N., Rudovsky P.N.* A method of constructing three-dimensional model of woven fabrics of carbon fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. No. 3 (369). pp. 140…144.

13. *Gu Q., Quan Z., Yu J.* A new algorithm to generate randomly distributed fibers within the fiber bundle and numerical investigation of bundle cross-sectional performances in transverse compression // Journal of Industrial Textiles. 2023. Vol. 53. Article 15280837231195242. DOI: 10.1177/15280837231195242.

14. *El Messiry M., Eltahan E.* Analysis of the transverse compressive behavior of cotton yarns and fabrics // Journal of Industrial Textiles. 2023. Vol. 53. Article 15280837231176859. DOI: 10.1177/15280837231176859.

15. *Thompson A.J., El Said B., Ivanov D. etc.* High fidelity modelling of the compression behaviour of 2D woven fabrics // International Journal of Solids and Structures. 2018. Vol. 154. P. 104…113. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2017.06.027.

16. *Daelemans L., Tomme B., Caglar B. etc.* Kinematic and mechanical response of dry woven fabrics in through-thickness compression: Virtual fiber modeling with mesh overlay technique and experimental validation // Composites Science and Technology. 2021. Vol. 207. Article 108706. P. 1…12. DOI: 10.1016/j.compscitech.2021.108706.

17. *Rao M.P., Duan Y., Keefe Michael etc. (2009).* Modeling the effects of yarn material properties and friction on the ballistic impact of a plain-weave fabric. Composite Structures - COMPOS STRUCT. 89. 556-566. 10.1016/j.compstruct.2008.11.012.

18. *Gasser A., Boisse Philippe, Hanklar S.* (2000). Mechanical behaviour of dry fabric reinforcements. 3D simulations versus biaxial tests. Computational Materials Science. 17. 7-20. 10.1016/S0927-0256(99)00086-5.

19. *Rudovsky P.N., Grechukhin A.P., Palochkin S.V.* Rational reinforcement of composite material parts with fabrics of variable weft density // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. No. 2 (35). pp. 21…23.

20. *Grechukhin A.P., Khabibulloyev A., Rudovsky P.N. etc.* Method for 3D modeling of three-dimensional orthogonal fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 1 (403). pp. 133…138.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин КГУ. Поступила 01.05.26.

УДК 620.17
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_345

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ ОЧЕНЬ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА*

CHANGES IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID FIBERGLASS COMPOSITES IN EXTREMELY COLD CLIMATES

А.К. КЫЧКИН[1], О.В. СТАРЦЕВ[1,2], А.А. КЫЧКИН[2], А.А. ГАБЫШЕВ[2], И.Г. ЛУКАЧЕВСКАЯ[2]

A.K. KYCKIN[1], O.V. STARTSEV[1,2], A.A. KYCKIN[2], A.A. GABYSHEV[2], I.G. LUKACHEVSKAYA[2]

([1]Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН, [2]Якутский научный центр Сибирского отделения РАН)

([1]Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, [2]Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences)

E-mail: icen.kychkin@mail.ru

Пластины гибридных композиционных материалов на основе стеклянной ткани ТР-560-30А, углеродной ткани ТВИЛ 2/2-1000-12к-400 и эпоксидиановой смолы CYD-128 проэкспонированы 2 года в условиях экстремально холодного климата Якутска. В исходном состоянии и после 1 года и 2 лет экспонирования измерены пределы прочности и модули упругости при растяжении, сжатии, изгибе, сдвиге, ударная вязкость по Шарпи, коэффициент линейного термического расширения, температура стеклования полимерной матрицы, температуры начала и окончания перехода связующего из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Показано, что для исследованных стекло/углепластиков главным фактором агрессивности экстремально холодного климата является климатическое физическое старение, проявляющееся в релаксации структурных неоднородностей, уменьшении свободного объема и усилении межмолекулярного взаимодействия. Относительные коэффициенты сохранения механических показателей после 1 года и 2 лет экспозиции в экстремально холодном климате Якутска различны для стеклопластика, углепластика и их гибридных сочетаний.

Plates made of hybrid composite materials based on TR-560-30A fiberglass fabric, TWILL 2/2-1000-12k-400 carbon fabric, and CYD-128 epoxy resin were exposed for 2 years to the extremely cold climate of Yakutsk. In the initial state and after one and two years of exposure, measurements were taken for tensile, compres-

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ FWRS-2024-0058) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

sive, flexural, and shear strengths and moduli; Charpy impact strength; the coefficient of linear thermal expansion; the glass transition temperature of the polymer matrix; and the onset and completion temperatures of the binder's transition from the glassy to the high-elastic state.

It was shown that for the studied glass/carbon fiber reinforced plastics, the main aggressive factor of the extremely cold climate is climatic physical aging, manifested in relaxation of structural inhomogeneities, reduction of free volume and averaging of intermolecular interactions. The relative retention coefficients of mechanical properties after 1 and 2 years of exposure in Yakutsk's extremely cold climate differ for the fiberglass reinforced plastic, carbon fiber reinforced plastic and their hybrid combinations.

Ключевые слова: композитные материалы, деструкция, повреждения, прочность, модуль упругости, динамический механический анализ, температура стеклования.

Keywords: Composite materials, degradation, damage, strength, elastic modulus, dynamic mechanical analysis, glass transition temperature.

Введение

Стеклопластики (СП), углепластики (УП), органопластики (ОП), базальтопластики (БП) и другие полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе термореактивных матриц широко используются в технике и строительстве [1, 2]. Эти материалы должны сохранять свою работоспособность в элементах конструкций в течение 30-50 и более лет. Для обоснования возможности такой длительной эксплуатации выполняется контроль комплекса физико-механических показателей [3] при экспозиции в открытых типовых климатических условиях земного шара.

Состояние ПКМ обычно определяется обобщенным показателем – относительным коэффициентом сохранения $k_P=(P/P_0)$, где P – пределы прочности и модули упругости при растяжении (σ_t, E_t), сжатии (σ_c, E_c), изгибе (σ_b, E_b), межслойном сдвиге (σ_s, G), измеренные после различных сроков экспонирования; P_0 – исходные значения соответствующих механических показателей. В работе [4] авторы выполнили системный анализ k_P более 3000 наборов образцов ПКМ после экспонирования от 0,5 до 23 лет в 7 типовых климатических условиях земного шара. Они показали, что ухудшение прочностных показателей ПКМ в холодном климате происходит медленнее, чем в тропическом климате. Поэтому воздействие холодного климата менее опасно, чем теплого влажного или тропического климата. По данным [4] вероятность ухудшения механических показателей ПКМ в холодном климате в 3,3 раза меньше, чем после экспонирования в тропическом климате.

При освоении Арктики усилился интерес к исследованиям старения ПКМ в экстремально холодном климате [5…13]. Dutta [5] установил, что главной особенностью влияния холодного климата на свойства ПКМ является возникновение внутренних напряжений, вызванных неодинаковым термическим расширением армирующих волокон и полимерной матрицы при понижении температуры и термоциклировании. Эти внутренние напряжения вызывают появление микротрещин. При продолжении термоциклирования остаточная прочность ПКМ уменьшается.

В работе [6] рассмотрены эффекты изменения k_P УП, ОП, СП после 2-3 лет пребывания образцов на открытом стенде и под навесом в зависимости от состава и схемы армирования материала. Прочностные показатели P ухудшились в большей степени (до 46%), чем упругие. По результатам выполненных измерений [6] дан прогноз изменения k_P на 10-летний период, представивший снижение k_P до 0,6.

По данным [7] прочностные показатели нескольких марок УП и ОП, экспонированных 10 лет в климате Аляски, ухудшились в большей степени, чем после воздействия влажных субтропиков. Предел прочности при растяжении σ_t уменьшился незначительно (до 93%), тогда как показатели σ_c и σ_s снизились на 17…20%. Показатель σ_c составил 83…92%. Показатели $\sigma_в$ снизились на 10…20%. В зимние периоды возрастает опасность разрушения материалов из-за значительного увеличения их хрупкости, что должно учитываться при создании техники для работы в холодном климате [8…10].

По данным работ [11…14] пределы прочности при сжатии и изгибе многих марок ПКМ авиационного назначения после 1-5 лет экспонирования в открытых климатических условиях Якутска уменьшились значительнее (на 10…15% и более), чем после экспонирования в условиях более теплых регионов (Батуми, Сочи, Геленджик, Москва).

В работах [13…15] проанализированы результаты исследований воздействия температуры, влаги, солнечной радиации и других агрессивных факторов внешней среды на свойства ПКМ для выяснения механизма их старения в условиях холодного климата. С использованием расчетов в исследованиях авторов [5, 16] показано, что в композитах развиваются внутренние напряжения, вызванные неодинаковым термическим расширением армирующих волокон и полимерных матриц.

Таким образом, если ПКМ находятся в открытых климатических условиях и подвергаются воздействию сезонных и суточных термоциклов, то для изучения их влияния на относительные коэффициенты сохранения k_P необходимы сведения о числе и границах термоциклов. При этом необходимо учитывать, что температура поверхности образцов ПКМ существенно отличается от температуры воздуха, измеренной стандартными приборами на метеорологических станциях. В исследовании [17] показано, что перегрев поверхности УП в летние солнечные дни может достигать 20…30 °С в зависимости от климатического региона земного шара.

Целью данной работы является экспериментальное исследование температурного режима пластин УП и СП при экспонировании на открытом стенде в условиях холодного климата, сравнение количества низкотемпературных переходов материалов и окружающего воздуха и оценка влияния перехода "замораживание-оттаивание" на прочностные и физические показатели СП и УП.

Материалы и методы исследований

Для проведения исследований были приготовлены пластины гибридного композиционного материала СП, УП, СП/УП. В качестве армирующих наполнителей использовали стеклянную ткань ТР-560-30А производства АО "Полоцк-Стекловолокно" (Беларусь) и углеродную ткань ТВИЛ 2/2-1000-12к-400 производства АО "Препрег-СКМ" (Москва). Основой связующего являлась эпоксидиановая смола CYD-128 (Hefei TNJ Chemical Industry Co., Ltd., Китай), отвержденная изо-метилтетрагидрофталевым ангидридом (изо-МТГФА) в присутствии ускорителя 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола УП-606/2 ("Стерлитамакский нефтехимический завод", Россия).

Пластины гибридного композиционного материала размером 950×450×5,3±0,2 мм получены методом вакуумной инфузии в работах [18, 19] при отверждении в формах при температуре 160 ± 2 °С в течение 4 часов. Состав пластин и расположение слоев представлены в табл. 1.

Таблица 1

Шифр плит	Количество слоев ткани, шт.		Схема армирования по слоям	Толщина, мм
	С*	У*		
СП14	14	0	Все слои С	5,15±0,1
СП10УП4	10	4	ССУССУССУССУСС	5,24±0,1
СП7УП7	7	7	СУСУСУУСУСУСУС	5,35±0,1
СП3УП11	3	11	СУУУУУУСУУУУУС	5,34±0,1
УП14	0	14	Все слои У	5,55±0,1

*С – стеклоткань, У – углеткань

При выполнении работы измерены следующие механические показатели *P* стекло/углепластиков*:* пределы прочности и модули упругости при растяжении (σ_t, E_t), изгибе (σ_b, E_b), сжатии (σ_c, E_c), межслойном сдвиге (σ_s, G), а также ударная вязкость по Шарпи (a).

Для проведения испытаний на растяжение были подготовлены образцы по 5 штук с каждого типа пластиков с размерами 10×250±2 мм с приклеиванием накладок размерами 10×75±2мм с уклоном 30 градусов для исключения влияния захватов на деформацию испытуемого материала. Длина рабочего участка составляла не меньше 95±2мм, скорость растяжения равнялась 2 мм/мин. Экстензометр устанавливался с базой замера напряжения 50 мм рабочего участка образца.

Для испытаний на изгиб использовались плоские образцы с размерами 20×110±0,2 мм по 5 штук для каждого вида материала. Образцы размещали на две опоры, расположенные на расстоянии 80 мм друг от друга, и нагружали со скоростью 2 мм/мин до момента разрушения. Радиус закругления нагружающего пуансона составил 5 мм.

Для испытаний на сдвиг использовались плоские образцы с размерами 75±1×150±1 мм по 5 штук для каждого вида материала. Образцы закрепляли болтами между двумя парами параллельных стальных планок с предварительной нагрузкой 50 Н и последующей растягивающей вертикальной нагрузкой со скоростью 2 мм/мин.

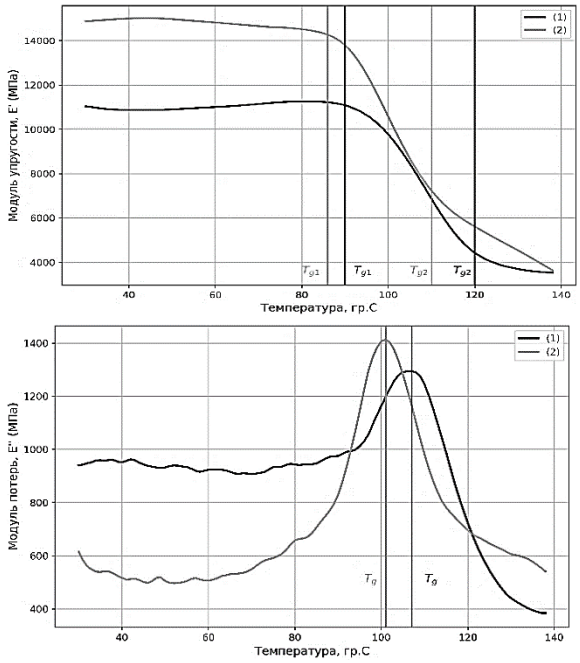
Испытания на определение ударной вязкости (а) проводили на образцах размерами 6±0,2×50±1 мм. Образцы помещали на две опоры, разнесенные на расстояние 40 мм, и подвергали удару "в ребро" (параллельно ширине образца) маятниковым копром.

Чтобы исключить пластифирующий эффект воздействия влаги, образцы перед началом измерений механических показателей сушили при температуре 60°С в течение 72 часов.

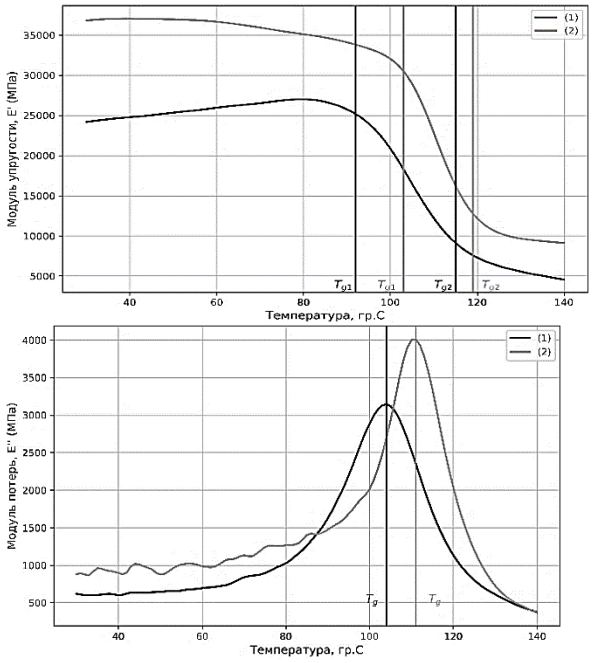
Для выявления механизмов старения стекло/углепластиков использованы методы динамического механического анализа (ДМА) и термомеханического анализа (ТМА), хорошо зарекомендовавшие себя при исследовании ранних стадий климатического старения ПКМ [14, 20, 21].

Результаты и обсуждение

В ряде публикаций [14, 17, 20] метод ДМА успешно применялся для выявления доминирующих физико-химических превращений в полимерных матрицах ПКМ. Этот метод показал свою эффективность и в настоящей работе.



а)



б)

Рис. 1

На рис. 1 представлены примеры температурных зависимостей динамического модуля упругости *E'(T)* и динамического модуля потерь *E''(T)* в СП$_{14}$ (а) и УП$_{14}$ (б). В этих примерах использовались образцы, вырезанные из лицевых сторон пластин в исходном состоянии (1) и после 2 лет экспозиции в климатических условиях Якутска (2).

Из графиков зависимости *E'(T)* для образца СП$_{14}$ в исходном состоянии (рис. 1, а) легко находятся температуры начала Tg_1 = 90 ºС и окончания Tg_2 = 120 ºС перехода эпоксидной матрицы из стеклообразного в высокоэластическое состояние. После 2 лет климатического воздействия эти температуры понижаются и приобретают значения Tg_1 = 86 ºС, Tg_2 = 110 ºС. Положение максимума на кривой E"(T) определяет исходную температуру стеклования матрицы *Tg*=107 ºС, которая смещается к 101 ºС. Температура стеклования СП$_{14}$ определяется также по точке изгиба графика *E'(T)* и имеет значение 109ºС в исходном состоянии и 99ºС после 2 лет экспозиции. Значения, определенные этими двумя способами, совпадают с точностью до ± 1 ºС.

Результаты выполненных ДМА измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

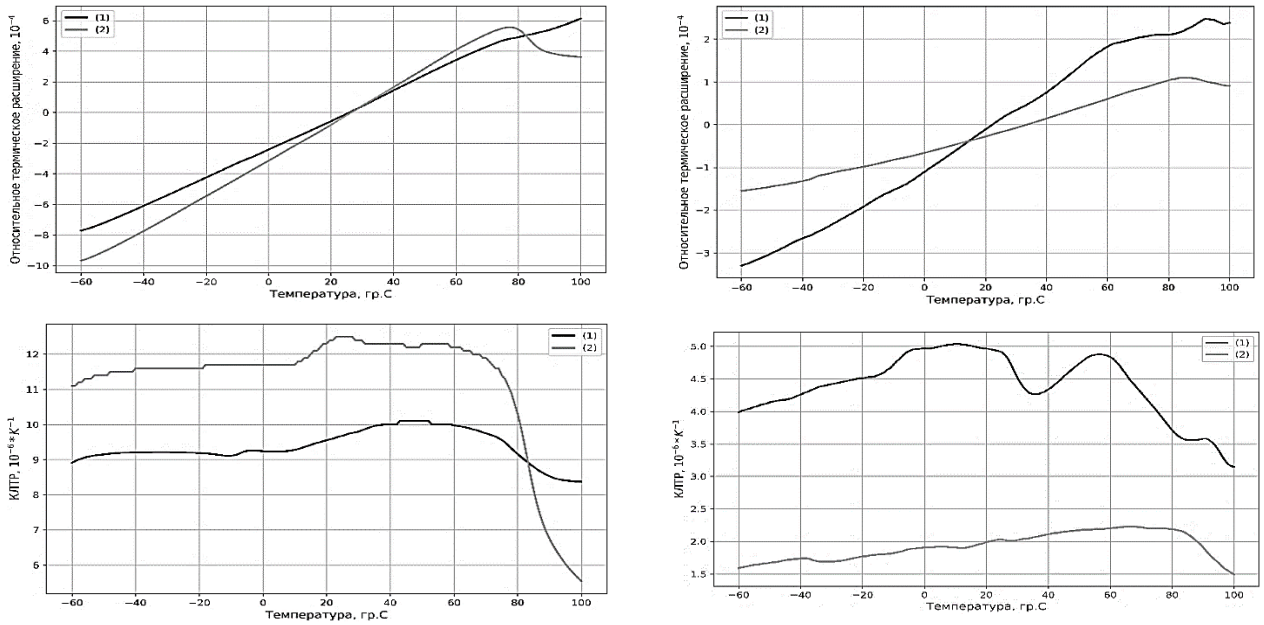
Наименование показателя	Маркировка образцов					
	СП$_{14}$		УП$_{14}$		СП$_7$УП$_7$	
	исх. / 2 года		исх. / 2 года		исх. / 2 года	
	Л *	Т *	Л *	Т *	Л *	Т *
E'_{RT}, ГПа	11/15	15/15	25/37	24/37	23/25	16/22
Tg_1, ,°С	90/86	89/85	92/103	91/97	90/99	91/96
Tg,°С	109/99	109/97	105/110	102/107	104/106	104/104
Tg,°С **	107/101	109/100	104/111	102/108	105/107	104/105
Tg_2, °С	120/110	125/111	115/119	114/119	117/115	115/113

*Л – лицевая сторона, Т – тыльная сторона.

** – температура стеклования, определенная по максимуму *E''*.

Из результатов табл. 2 следует, что общей закономерностью климатического термоциклирования является снижение на 4…14 °С характеристических температур перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние эпоксидной матрицы СП$_{14}$ и повышение этих температур на 4…11 °С в УП$_{14}$. В гибриде СП$_7$УП$_7$ выявлена тенденция к незначительному повышению этих характеристических температур.

Вероятными причинами изменений *E'(T)* и *E''(T)* являются эффекты физического старения [22, 23], которые способствуют релаксации внутренних напряжений [15] в ПКМ.



а) б)

Рис. 2

На рис. 2 представлены результаты измерения коэффициента относительного термического расширения (КОТР), определяемого как отношение величин коэффициентов линейного термического расширения (КЛТР) сверху и снизу, в интервале температур от -60 °С до 80 °С как в исходном состоянии (1) $СП_{14}$ (а), $УП_{14}$ (б), так и после 2 лет экспозиции в климате Якутска (2). Количественные эффекты изменений КЛТР в $СП_{14}$, $УП_{14}$, $СП_7УП_7$ суммированы в табл. 3.

Таблица 3

Показатель	Температура измерения	$СП_{14}$		$УП_{14}$		$СП_7УП_7$	
		Исходный	После 2 лет	Исходный	После 2 лет	Исходный	После 2 лет
$\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°С	-60 ºС	9,0	11,1	4,0	1,6	4,2	5,6
	-20 ºС	9,2	11,7	4,5	1,8	4,8	5,7
	0 ºС	9,3	11,8	5,0	1,9	5,5	6,3
	20 ºС	9,6	12,3	5,0	2,0	5,8	6,7
	60 ºС	10,0	12,2	4,9	2,2	5,7	6,8

Термомеханический анализ показал, что при климатическом воздействии в связующем $СП_{14}$ увеличивается свободный объем, снижается межмолекулярное взаимодействие и уменьшаются температуры Tg_1, Tg, Tg_2.

Для $УП_{14}$ значительное снижение КЛТР и рост Tg_1, Tg, Tg_2 после термоциклирования характерны для физического старения [22, 23]. В работе [24] зафиксировано в эпоксидном углепластике (Cycom 5276-1) после 1050 циклов снижение поперечного КЛТР на 20%, рост Tg с 168°С до 174°С и образование микрорастрескивания во внутренних слоях композита.

В табл. 4 суммированы механические показатели ПКМ, измеренные в исходном состоянии и после 1 года и 2 лет экспонирования в Якутске.

Таблица 4

Маркировка	Показатель и единица измерения	Исходное значение	После 1 года		После 2 лет	
			значение	k_P	значение	k_P
$СП_{14}$	σ_t, МПа	611 ± 5	542 ± 6	0,89	465 ± 12	0,76
	E_t, ГПа	27,6 ± 0,14	21,8 ± 0,4	0,79	18,6 ± 0,4	0,68
	σ_b, МПа	626 ± 13	568 ± 19	0,91	444 ± 12	0,71
	E_b, ГПа	23,9 ± 0,3	22,9 ± 0,4	0,96	18,0 ± 0,3	0,75
	σ_c, МПа	359 ±19	383 ± 14	1,07	364 ± 7	1,02
	σ_s, МПа	61,2 ± 2,0	76,7 ± 2,0	1,25	72,5 ± 2,5	1,18
	G, ГПа	3,82 ± 0,2	3,7 ± 0,2	0,97	-	-
	a, кДж/м^2	219 ± 11	224 ± 7	1,03	133 ± 14	0,61
$СП_{10}УП_4$	σ_t, МПа	613 ±36	577 ± 10	0,94	524 ± 12	0,86
	E_t, ГПа	43 ±1,0	38,8 ± 0,6	0,90	38,8 ± 0,4	0,90
	σ_b, МПа	661 ± 18	645 ± 15	0,98	505 ± 3	0,76
	E_b, ГПа	33,7 ±0,3	31,7 ± 0,4	0,94	27,3 ± 0,3	0,81
	σ_c, МПа	397 ± 19	366 ± 15	0,92	404 ± 15	1,02
	σ_s, МПа	67,9 ±0,7	85,6 ± 3,5	1,26	71,1 ± 3,2	1,05
	G, ГПа	3,7 ± 0,1	3,92 ± 0,2	1,06	-	-
	a, кДж/м^2	191 ± 6	176 ± 7	0,92	129 ± 3	0,67
$СП_7УП_7$	σ_t, МПа	676 ± 17	618 ± 8	0,92	543 ± 13	0,80
	E_t, ГПа	52,9 ± 0,7	49,4 ± 0,8	0,93	47,2 ± 0,3	0,89
	σ_b, МПа	642 ± 22	594 ± 39	0,93	492 ± 15	0,77
	E_b, ГПа	38,5 ±0,5	38,7 ± 0,6	1,01	32,0 ± 0,5	0,83
	σ_c, МПа	426 ± 22	418 ± 15	0,98	368 ± 13	0,86
	σ_s, МПа	69,4 ± 0,3	90,1 ± 1,7	1,30	75,1 ± 3,2	1,08
	G, ГПа	3,22 ± 0,05	4,4 ± 0,2	1,37	-	-
	a, кДж/м^2	174 ± 9	163 ± 8	0,93	153 ± 5	0,88

Окончание табл. 4

$СП_3УП_{11}$	σ_t, МПа	749 ± 23	764 ± 12	1,02	701 ± 6	0,94
	E_t, ГПа	67,2 ± 1,5	67,5 ± 1,6	1,00	63,6 ± 1,0	0,95
	σ_b, МПа	724 ± 28	572 ± 35	0,79	580 ± 29	0,80
	E_b, ГПа	46,2 ± 1,3	48,0 ± 0,6	1,06	42,6 ± 0,6	0,92
	σ_c, МПа	445 ± 5	415 ± 18	0,93	412 ± 15	0,93
	σ_s, МПа	67,7 ± 2,0	71,4 ± 1,4	1,05	75,1 ±1,5	1,11
	G, ГПа	3,02 ± 0,08	4,1 ± 0,2	1,36	-	-
	a, кДж/м^2	141 ± 4	143 ± 2	1,01	176 ± 7	1,24
$УП_{14}$	σ_t, МПа	648 ± 22	797 ± 18	1,23	777 ± 15	1,20
	E_t, ГПа	70,8 ± 1,1	70,8 ± 1,5	1,00	72,9 ±0,5	1,03
	σ_b, МПа	660 ± 16	643 ± 16	0,97	559 ± 42	0,85
	E_b, ГПа	50,8 ± 1,2	54,7 ± 1,2	1,08	49,1 ± 1,5	0,97
	σ_c, МПа	388 ± 21	393 ± 12	1,01	435 ± 27	1,12
	σ_s, МПа	68,8 ± 2,6	78,0 ± 5,8	1,13	76,4 ±1,8	1,11
	G, ГПа	3,02 ± 0,12	3,66 ± 0,18	1,21	-	-
	a, кДж/м^2	91,1 ± 1,2	146 ± 3	1,60	207 ± 3	2,3

Экспериментальные данные выявили существенные различия в поведении материалов при климатическом воздействии. Для стеклопластика $СП_{14}$ после 2 лет экспозиции зафиксировано снижение: прочности при растяжении (σ_t) на 24%, модуля упругости (E_t) на 32%, прочности при изгибе (σ_b) на 29% и модуля изгиба (E_b) на 25%. При этом прочность при сдвиге (σ_s) увеличилась на 25%, а ударная вязкость (а) снизилась на 39%.

Углепластик $УП_{14}$ показал противоположную динамику: рост σ_t и E_t на 20…25% при незначительном снижении σ_b и E_b (3…15%). Особенно заметно увеличилась ударная вязкость – в 2,3 раза.

Наблюдается корреляция климатической стабильности от количества слоев углеткани в композитах. Наиболее климатически стабильным образцом является образец маркировки $УП_{14}$, где весь состав состоит из углеткани. Характеристики σ и E подтверждают вывод о заметном превышении климатической стойкости углепластиков над стеклопластиками и гибридами.

Гибридные материалы демонстрируют промежуточные свойства, подчиняясь правилу смеси. Их поведение не зависит от количества и расположения слоев, что подтверждает универсальность выявленных закономерностей.

В Ы В О Д Ы

Проведенные исследования и анализ позволили сформулировать следующие выводы:

1. Ключевым фактором изменения механических свойств гибридных эпоксидных стекло/углепластиков в холодном климате являются климатические термоциклы, которые создают циклические внутренние напряжения, аналогичные механическому нагружению.

2. Под действием термоциклов происходит физическое старение полимерной матрицы: релаксация структурных неоднородностей, уменьшение свободного объема и усиление межмолекулярного взаимодействия. Эти изменения фиксируются по сдвигу температур стеклования, начала и окончания перехода в высокоэластическое состояние, а также по изменению коэффициента линейного термического расширения.

3. Длительное экспонирование в экстремально холодном климате (г. Якутск) в течение 1 и 2 лет приводит к различной степени деградации механических характеристик. Коэффициенты сохранения прочности и модуля упругости при растяжении, сжатии, изгибе, сдвиге, а также ударной вязкости различаются для стеклопластика, углепластика и их гибридных сочетаний.

4. Климатическое воздействие также инициирует образование микротрещин в объеме композита, что является одним из механизмов снижения прочности.

Полученные результаты подчеркивают важность учета эффектов физического старения при проектировании и эксплуатации полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Irving P., Soutis C.* Polymer composites in the aerospace industry. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. 688 p. – DOI: 10.1017/aer.2020.118.

2. Long-term durability of polymeric matrix composites / Eds K.V. Pochiraju, G.P. Tandon, G.A. Schoeppner. Springer, Boston, 2012. 677 pp. – DOI: 10.1007/978-1-4419-9308-3.3.

3. *Кормашова Е.Р., Грузинцева Н.А., Зяблов В.А., Гусев Б.Н.* Определение показателей качества композитного слоистого текстильного изделия для изготовления бетонного полотна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2(410). С. 233…239.

4. *Каблов Е.Н., Старцев В.О.* Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2(51). С. 47…58. – DOI 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58. EDN UOPPLH.

5. *Dutta P.K.* Structural fiber composite materials for cold regions // Journal of Cold Regions Engineering. 1988. V.2, №3. P. 124…134. – doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(1988)2:3(124).

6. *Bulmanis V.N., Gunyaev G.M. et al.* Atmospheric durability of polymer-fiber composites in cold climates. // Mechanics of Composite Materials. 1991. V. 27. P. 698…705. – doi.org/10.1007/BF00808081.

7. *Baker D.J.* Ten-year ground exposure of composite materials used on the Bell model 206L helicopter flight service program // NASA Technical Paper 3468, ARL Technical Report 480. Hampton. Virginia. 1994. 54 p.

8. *Каблов Е.Н., Лебедев М.П., Старцев О.В., Голиков Н.И.* Климатические испытания материалов, элементов конструкций, техники и оборудования в условиях экстремально низких температур // EURASTRENCOLD-2013. Якутск, 2013. Т. 1. С. 5…7. – EDN TJOXVN.

9. *Исламов Б.Х., Ташпулатов С.Ш., Чориева М.Б. и др.* Влияние низких температур на физико-механические свойства волокнонаполненных полимерных композиций // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2(410). С. 213…218.

10. *Сагитова Ф.Р., Шарифуллин Ф.С., Абдуллин И.Ш.* Повышение термостойкости и прочности композиционных материалов с использованием волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и углерода, модифицированных потоком низкоэнергетических ионов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5(419). С. 349…357.

11. *Petrova A.P., Dement'eva L.A., Kutsevich K.E. et al.* On the possibility of using of materials based on adhesive prepregs in Arctic conditions // Polym. Sci. Ser. D. 2016. V. 9. P. 382…386. – doi.org /10.1134/S199542121604016X/.

12. *Shvedkova A.K., Petrova A.P., Buznik V.M.* Climate resistance of composite materials based on adhesive prepregs under arctic conditions // Polymer Sci. Ser. D, 2016. V.9. P. 165…171. – DOI: 10.1134/ S1995421216020210.

13. *Старцев О.В., Лебедев М.П., Кычкин А.К.* Старение полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата // Известия Алтайского государственного университета. 2020. № 1(111). С. 41…51. – DOI 10.14258 /izvasu(2020)1-06. – EDN QIQKGR.

14. *Lebedev M.P., Startsev O.V.* Regularities of aging of polymer and polymer composite materials in the conditions of the Far North // Russian Chemical Bulletin. 2023. V. 72, No. 2. P. 553…565.

15. *Kablov E.N., Startsev V.O.* The influence of internal stresses on the aging of polymer composite materials: a review // Mechanics of Composite Materials. 2021. V. 57. No 5. P. 565…576.

16. *Hahn H.T.* Residual stresses in polymer matrix composite laminates // J. of Composite Materials. 1976. V. 10. P. 266…278. – doi.org/10.1177 /002199837601000401.

17. *Каблов Е.Н., Старцев О.В.* Измерение и прогнозирование температуры образцов материалов при экспонировании в различных климатических зонах // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 4(61). С. 47…58. – DOI 10.18577/2071-9140-2020-0-4-47-58. – EDN LMHJLE.

18. *Кычкин А.А., Кычкин А.К., Туисов А.Г.* Создание гибридных композиционных полимерных материалов для исследования взаимосвязей "состав-структура-технология" при длительном воздействии климатических факторов // EURASTRENCOLD-2022. Киров, 2022. С. 250…257. – EDN DOETUW.

19. *Копырин М.М., Марков А.Е., Иванов А.Н. и др.* Исследование упруго-прочностных свойств гибридных композиционных пластиков // EURASTRENCOLD-2022. Киров, 2022. С. 233…237. – EDN VKESCV.

20. *Startsev O.V., Perepechko I.I.* Molecular mobility and relaxation processes in an epoxy matrix - 1.Influence of the reinforcing filler // Mechanics of Composite Materials. 1984. Vol. 20, №3. P. 271…274. – DOI 10.1007/BF00610281. – EDN XLTFGE.

21. *Gavrilieva A.A., Startsev O.V., Lebedev M.P. et al.* Size Effects in Climatic Aging of Epoxy Basalt Fiber Reinforcement Bar // Polymers. 2024. Vol. 16. No. 18. P. 2550. – DOI 10.3390/polym16182550. – EDN EHKPMG.

22. *Kong E.SW.* Physical aging in epoxy matrices and composites // Dušek, K. (eds) Epoxy Resins and Composites IV. Advances in Polymer Science, Springer, Berlin, Heidelberg. 1986. V. 80. P. 125…181. – doi.org/10.1007/3-540-16423-5_14.

23. *Odegard G.M., Bandyopadhyay A.* Physical aging of epoxy polymers and their composites // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. 2011. V. 49. P. 1695…1716. – DOI: 10.1002/polb.22384.

24. *Park S.Y., Choi W.J., Choi C.H. et al.* An experimental study into aging unidirectional carbon fiber epoxy composite under thermal cycling and moisture absorption // Composite Structures. 2019. V. 207. P. 81…92. – doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.08.069.

REFERENCES

1. *Irving P., Soutis C.* Polymer composites in the aerospace industry. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. 688 p. – DOI: 10.1017/aer.2020.118.

2. Long-term durability of polymeric matrix composites / Eds K.V. Pochiraju, G.P. Tandon, G.A. Schoeppner. Springer, Boston, 2012, 677 pp. – DOI: 10.1007/978-1-4419-9308-3.3.

3. *Kormashova E.R., Gruzintseva N.A., Zyablov V.A., Gusev B.N.* Definition of quality indicators of composite layered textile product for the production of concrete cloth // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 2(410). P. 233…239.

4. *Kablov E.N., Startsev V.O.* Sistemnyy analiz vliyaniya klimata na mekhanicheskiye svoystva polimernykh kompozitsionnykh materialov po dannym oteche-stvennykh i zarubezhnykh istochnikov (obzor) // Aviatsionnyye materialy i tekhnologii. 2018. № 2(51). S. 47…58. – DOI 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58. – EDN UOP-PLH.

5. *Dutta P.K.* Structural fiber composite materials for cold regions // Journal of Cold Regions Engineering. 1988. V. 2, № 3. P. 124…134. – doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(1988)2:3(124).

6. *Bulmanis V.N., Gunyaev G.M. et al.* Atmospheric durability of polymer-fiber composites in cold climates // Mechanics of Composite Materials. 1991. V. 27. P. 698…705. – doi.org/10.1007/BF00808081.

7. *Baker D.J.* Ten-year ground exposure of composite materials used on the Bell model 206L helicopter flight service program // NASA Technical Paper 3468, ARL Technical Report 480. Hampton. Virginia. 1994. 54 p.

8. *Kablov E.N., Lebedev M.P., Startsev O.V., Golikov N.I.* Klimaticheskiye ispytaniya materialov. elementov konstruktsiy. tekhniki i oborudovaniya v usloviyakh ekstremalno nizkikh temperatur // EURASTRENCOLD-2013. Yakutsk, 2013. T. 1. S. 5…7. – EDN TJOXVN.

9. *Islamov B.Kh., Tashpulatov S.Sh., Chorieva M.B. et al.* Influence of low temperatures on physical and mechanical properties of fiber-filled polymer compositions // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 2(410). P. 213…218.

10. *Sagitova F.R., Sharifullin F.S., Abdullin I.SH.* Improving 0f thermal resistance and strength of composite materials using ultra-high molecular weight polyethylene and carbon fibers modified with low-energy ion flow // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 5(419). P. 349…357.

11. *Petrova A.P., Dement'eva L.A., Kutsevich K.E. et al.* On the possibility of using of materials based on adhesive prepregs in Arctic conditions // Polym. Sci. Ser. D. 2016. V. 9. P. 382…386. – doi.org/10.1134/S199542121604016X/.

12. *Shvedkova A.K., Petrova A.P., Buznik V.M.* Climate resistance of composite materials based on adhesive prepregs under arctic conditions // Polymer Sci. Ser. D, 2016. V. 9. P. 165…171. – DOI: 10.1134/S1995421216020210.

13. *Startsev O.V., Lebedev M.P., Kychkin A.K.* Stareniye polimernykh kompo-zitsionnykh materialov v usloviyakh ekstremalno kholodnogo klimata // Izvestiya Altayskogo gosudar-stvennogo universiteta. 2020. № 1(111). S. 41…51. – DOI 10.14258/izvasu(2020)1-06. – EDN QIQKGR.

14. *Lebedev M.P., Startsev O.V.* Regularities of aging of polymer and polymer composite materials in the conditions of the Far North // Russian Chemical Bulletin, 2023. V. 72, No. 2. P. 553…565.

15. *Kablov E.N., Startsev V.O.* The influence of internal stresses on the aging of polymer composite materials: a review // Mechanics of Composite Materials. 2021. V. 57. No 5. P. 565…576.

16. *Hahn H.T.* Residual stresses in polymer matrix composite laminates // J. of Composite Materials. 1976. V. 10. P. 266…278. – doi.org/10.1177/002199837601000401.

17. *Kablov E.N. Startsev O.V.* Izmereniye i prognozirovaniye temperatury obraztsov materialov pri eksponirovanii v razlichnykh klimaticheskikh zonakh // Aviatsionnyye materialy i tekhnologii. 2020. № 4(61). S. 47…58. – DOI 10.18577/2071-9140-2020-0-4-47-58. – EDN LMHJLE.

18. *Kychkin A.A., Kychkin A.K., Tuisov A.G.* Sozdaniye gibridnykh kompo-zitsionnykh polimernykh materialov dlya issledovaniya vzaimosvyazey "sostav-struktura-tekhnologiya" pri dlitelnom vozdeystvii klimaticheskikh faktorov // EURASTRENCOLD-2022. Kirov, 2022. S. 250…257. – EDN DOETUW.

19. *Kopyrin M.M., Markov A.E., Ivanov A.N. et al.* Issledovaniye uprugo-prochnostnykh svoystv gibridnykh kompozitsionnykh plastikov // EURASTRENCOLD-2022. Kirov, 2022. S. 233…237. – EDN VKESCV.

20. *Startsev O.V. Perepechko I.I.* Molecular mobility and relaxation processes in an epoxy matrix - 1.Influence of the reinforcing filler // Mechanics of Composite Materials. 1984. Vol. 20, №3. P. 271…274. – DOI 10.1007/BF00610281. – EDN XLTFGE.

21. *Gavrilieva A.A., Startsev O.V., Lebedev M.P. et al.* Size Effects in Climatic Aging of Epoxy Basalt Fiber Reinforcement Bar // Polymers. 2024. Vol. 16, No. 18. P. 2550. – DOI 10.3390/polym16182550. – EDN EHKPMG.

22. *Kong E.SW.* Physical aging in epoxy matrices and composites // Dušek, K. (eds) Epoxy Resins and Composites IV. Advances in Polymer Science, Springer, Berlin, Heidelberg. 1986. V. 80. P. 125…181. – doi.org/10.1007/3-540-16423-5_14.

23. *Odegard G.M., Bandyopadhyay A.* Physical aging of epoxy polymers and their composites // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. 2011. V. 49. P. 1695…1716. – DOI: 10.1002/polb.22384.

24. *Park S.Y., Choi W.J., Choi C.H. et al.* An experimental study into aging unidirectional carbon fiber epoxy composite under thermal cycling and moisture absorption // Composite Structures. 2019. V. 207. P. 81…92. – doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.08.069.

Рекомендована организационным комитетом XXI Международной научно-практической конференции "Новые полимерные композиционные материалы". Поступила 06.10.25.

УДК 539.612:539.422.5
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_354

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫТАЛКИВАНИЯ МОНОВОЛОКНА ИНДЕНТОРОМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СВЯЗИ ВОЛОКНА С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ*

APPLICATION OF MONOFILAMENT PUSH-OUT METHOD USING INDENTER TO DETERMINE ADHESION STRENGTH BETWEEN FIBER AND POLYMER MATRIX

А.И. ГУЛЯЕВ, С.В. СБИТНЕВА

A.I. GULYAEV, S.V. SBITNEVA

(Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра "Курчатовский институт")

(All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials of National Research Center "Kurchatov Institute")

E-mail: gulyaevai@viam.ru

В работе обобщены результаты исследования прочности адгезионной связи волокна с полимерной матрицей методом выталкивания моноволокна индентором. Проведены исследования, направленные на развитие данной методики определения адгезионной прочности системы волокно-матрица в ПКМ. Систематизированы факторы, влияющие на корректность получения экспериментальных данных. Подтверждено, что адгезионная прочность, определенная данным методом, является размерно-независимой характеристикой. Представлены значения данной величины для эпоксидных углепластиков с волокнами различного диаметра, формы поперечного сечения и морфологии поверхности. Приведены значения адгезионной прочности волокно-матрица для стеклопластика в исходном состоянии и после воздействия различных климатических факторов. Показано, что наиболее значимое падение адгезионной прочности происходит после тепловлажностного

* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Климатические испытания" НИЦ "Курчатовский институт" – ВИАМ и при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Соглашения № 075-11-2023-058 от 31 августа 2023 г.

старения и последующего термоциклирования. Представлены результаты определения адгезионной прочности в полиимидном углепластике после термического старения. Наиболее выраженное снижение адгезионной прочности в полиимидном углепластике наблюдали после теплового старения при 320 °С в течение 200 часов.

This paper summarizes the results of a study on the adhesive bond strength between fibers and a polymer matrix using the single-fiber push-out test. Research was conducted to refine this method for determining the fiber-matrix adhesion strength in polymer composite materials. Factors influencing the accuracy of experimental data are systematized. It is confirmed that the adhesive strength determined by this method is a size-independent characteristic. The adhesive strength values are presented for epoxy carbon fiber reinforced plastics with fibers of different diameters, cross-sectional shapes, and surface morphologies. The fiber-matrix adhesion strength values for glass fiber polymer composite in the initial state and after exposure to various climatic factors are presented. It is shown that the most significant decrease in adhesion strength occurs after heat-humidity aging and subsequent thermal cycling. The results of determining the adhesion strength in polyimide carbon fiber reinforced plastic after thermal aging are presented. The most pronounced decrease in adhesive strength in carbon fiber polyimide composite was observed after thermal aging at 320 °C for 200 hours.

Ключевые слова: полимерные композиты, адгезионная прочность, граница раздела, климатические испытания, наноиндентирование, микроскопия.

Keywords: polymer composites, adhesive strength, interface, climatic testing, nanoindentation, microscopy.

Состояние граничного слоя волокно-матрица является объектом как целенаправленного регулирования, так и всестороннего исследования ввиду того, что прочность адгезионной связи волокна и матрицы может выступать лимитирующим фактором всего комплекса механических свойств ПКМ.

Разработанные к настоящему моменту методы определения адгезионной прочности волокно-матрица принципиально различаются по схеме приложения нагрузки, сложности интерпретации результатов и ряду других параметров [1]. Существуют способы, которые требуют изготовления специальных модельных образцов, и способы, которые могут быть осуществлены на образцах, изготовленных из опытных или промышленных ПКМ. Различают способы, в которых нагрузку прикладывают непосредственно к единичному волокну, и способы, в которых нагружают модельный образец или стандартный образец ПКМ. В ряде работ [2…4] приведены сравнительные результаты определения адгезионной прочности разными методами. В некоторых случаях для одних и тех же систем получали схожие значения, однако часто они существенно различаются. Данное явление связывают с различием физического смысла, который содержат результаты, полученные разными методами.

В России основным прямым методом измерения прочности связи волокно-матрица является метод вытягивания моноволокна из блока полимера [5…8]. В зарубежной литературе в настоящее время все большее внимание уделяется разновидности данного подхода – методу вытягивания моноволокна из капли отвержденного связующего [9]. При реализации данного метода применяют образцы со значительно меньшей поверхностью адгезионного контакта, что делает его более простым в интерпретации результатов по сравнению с вытягиванием моноволокна из блока полимера.

Сравнительно новой группой прямых методов измерения прочности адгезии волокна к матрице являются подходы, основанные на наноиндентировании [10]. Данная группа включает методы вдавливания и выталкивания волокна индентором. Преимуществом данных методов является возможность проводить определение адгезионной прочности опытных и промышленных ПКМ, а не модельных систем волокно-полимер. Метод вдавливания менее требователен к пробоподготовке образцов и оснастке для проведения испытаний, но и менее однозначен в интерпретации экспериментальных данных. Более определенно интерпретируемые результаты предоставляет метод измерения прочности адгезионной связи выталкиванием волокна индентором.

Одной из главных задач, стоящих перед методами определения адгезионной прочности в ПКМ, является установление таких требований к условиям проведения испытаний, при которых определяемая величина характеризует адгезионную связь, а не конкретный образец адгезионного соединения.

В настоящей работе обобщается опыт применения в НИЦ "Курчатовский институт" – ВИАМ метода выталкивания моноволокна индентором для определения адгезионной прочности волокно-матрица [11…14]. Цель работы – продемонстрировать возможности метода для решения задач, связанных с влиянием различных факторов на адгезионную прочность волокно-матрица.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования в серии работ [11…14] являлись:

- углепластики на основе трех марок высокопрочных волокон, различающихся диаметром, формой поперечного сечения и морфологией поверхности, и двух марок эпоксидного связующего, модифицированного полисульфоном, различающихся концентрацией термопласта;

- стеклопластик на основе стеклоровинга и эпоксидного связующего, модифицированного диапластом (продуктом взаимодействия эпихлоргидрина и бисфенола А). Образцы стеклопластика в исходном состоянии (состояние 1) подвергались тепловлажностному старению до равновесного влагосодержания (состояние 2). Влагонасыщенные образцы высушивались до постоянной массы (состояние 3). Высушенные образцы подвергались термоциклированию (состояние 4), включающему 200 циклов перепада температуры от минус 60 до 110 °С;

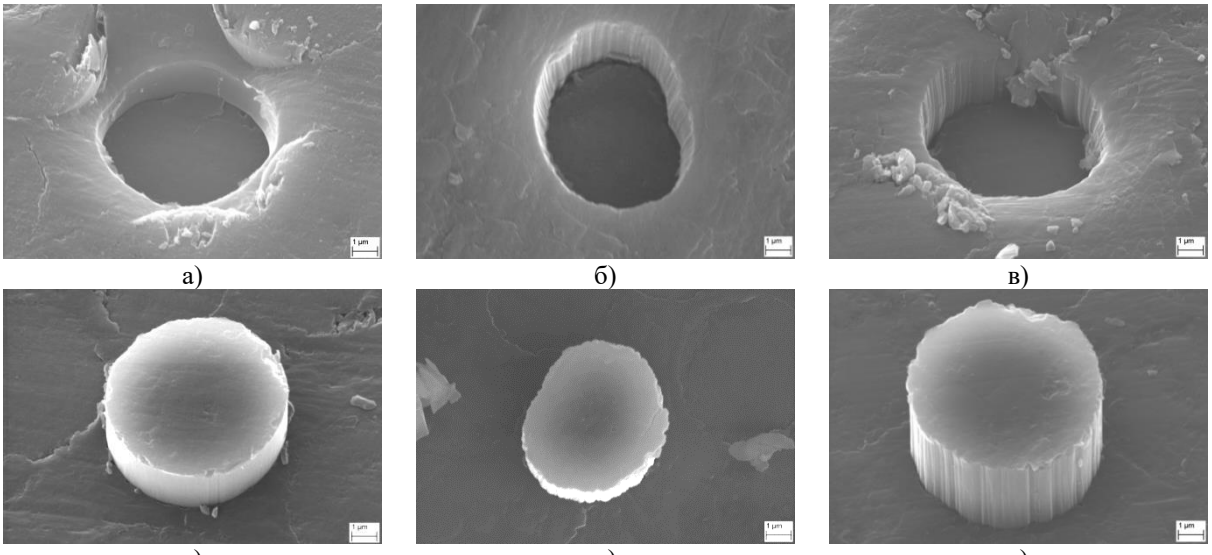
- углепластик на основе однонаправленной углеродной ткани и термореактивного расплавного полиимидного связующего. Одна партия исследованных образцов углепластика подвергалась термическому старению при температуре 320 °С в течение 105 и 200 часов. На другой партии образцов было проведено термоциклирование, включающее 250, 500 и 1000 циклов нагрева до температуры 280 °С.

Требования к образцам, пробоподготовка, методика проведения эксперимента по выталкиванию моноволокна индентором, а также анализ участков наноиндентирования и измерения толщины образца описаны в работах [11…14].

Результаты и их обсуждение

Для углепластиков исследованы геометрические характеристики волокон. Волокна марки № 1 характеризуются круглой формой поперечного сечения, средним диаметром 7,1 мкм и гладкой боковой поверхностью. Волокна марки № 2 представлены различной формой поперечного сечения: от округлой до бобовидной, характеризуются средним диаметром 5,2 мкм и фибриллизованной поверхностью. Для волокон марки № 3 характерна круглая форма сечения и фибриллизованная поверхность; средний диаметр составляет 7,1 мкм. Проведен анализ фазовой морфологии эпоксидных матриц. Для обеих марок эпоксидных матриц характерна сонепрерывная фазовая морфология, однако в матрице марки № 1 (меньшее содержание полисульфона) области выделения фазы, обогащенной термопластом, более локализованы, в то время как матрица марки № 2 характеризуется более равномерным пространственным распределением термопласта.

На рис. 1 приведены изображения углеродных волокон марок 1 (*а, г*), 2 (*б, д*) и 3 (*в, е*) после индентирования с рабочей (*а, б, в*) и оборотной (*г, д, е*) стороны.



а) б) в)

г) д) е)

Рис. 1

Основополагающий вопрос определения прочности адгезии волокна к матрице состоит в том, характеризует ли выбранный метод адгезионную прочность системы волокно-полимер или регламентированного образца адгезионного соединения определенной формы и размеров. С целью ответа на данный вопрос в работе проведены испытания по выталкиванию моноволокон индентором на образцах различной толщины.

Результаты измерения прочности адгезионной связи позволяют сделать вывод об отсутствии зависимости данной характеристики от толщины образца. При увеличении толщины образца измеряемая максимальная нагрузка пропорционально возрастает. Полученные результаты указывают на то, что в данном диапазоне толщин образцов измеренная адгезионная прочность волокно-матрица может рассматриваться как размерно-независимая характеристика. Следовательно, экспериментальные значения, полученные для каждой системы волокно-полимер при различных толщинах образцов, могут быть объединены в совокупные выборки для вычисления средних значений адгезионной прочности.

В табл. 1 представлены средние значения адгезионной прочности и диапазоны, характеризующие среднеквадратическое отклонение, для пяти марок углепластика в исходном состоянии и одной марки углепластика (на основе УВ № 1 и матрицы № 1) после 90 суток ускоренного тепловлажностного старения (в скобках указан коэффициент вариации).

Таблица 1

	УВ №1	УВ №2	УВ №3
Матрица №1	114±13 (11,8 %) 105±20* (18,8 %)	138±19 (14,0 %)	-
Матрица №2	121±16 (13,1 %)	131±17 (13,3 %)	115±9 (7,4 %)

Углепластики на основе УВ марки № 2 обладают наибольшей прочностью адгезионной связи волокно-матрица. Для углепластиков на основе матрицы марки № 1 превосходство при переходе от УВ марки № 1 к УВ марки № 2 составило 17,4%, в то время как для углепластиков на основе матрицы марки № 2 – 7,6%. Сохраняемость адгезионной прочности после 90 суток тепловлажностного воздействия составила 92,1%.

Результаты определения адгезионной прочности волокно-матрица для стеклопластика после воздействия различных климатических факторов приведены на рис. 2 (1 – исходное состояние; 2 – после тепловлажностного старения; 3 – после тепловлажностного старения и сушки; 4 – после тепловлажностного старения, сушки и термоциклирования).

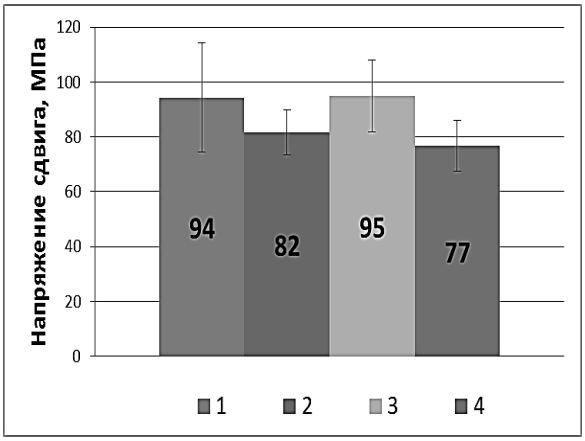


Рис. 2

На основании приведенной гистограммы можно проследить за эволюцией адгезионной прочности волокно-матрица. В исходном состоянии величина адгезионной прочности составила 94±20 МПа. После тепловлажностного старения до равновесного влагосодержания, составившего 0,55%, адгезионная прочность снизилась до 82±8 МПа. Последующая сушка способствовала полному восстановлению адгезионной прочности до значения 95±13 МПа. Однако воздействие термоциклирования привело к падению определяемой характеристики до 77±9 МПа.

На рис. 3 приведена гистограмма со средними значениями напряжения сдвига по границе раздела волокно-матрица для полиимидного углепластика в исходном состоянии (1), после термоциклирования (2) и после теплового старения (3).

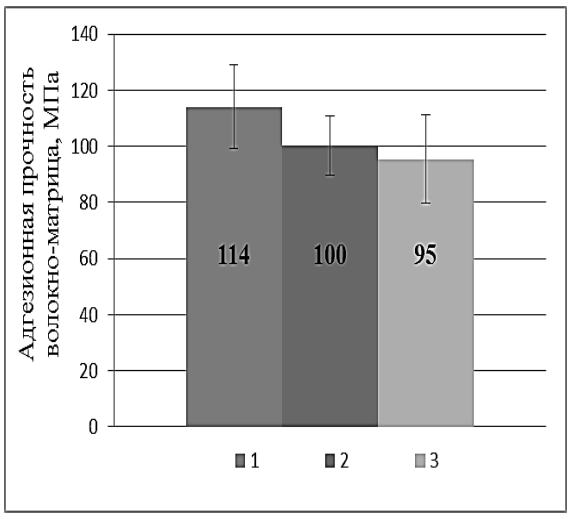


Рис. 3

Из приведенной гистограммы видно, что наибольшее падение адгезионной прочности происходит в результате теплового старения. В исходном состоянии величина адгезионной прочности составила 114±15 МПа. После 1000 циклов нагрева до 280 °С и охлаждения до комнатной температуры адгезионная прочность падает до 100±11 МПа. Экспонирование при 320 °С в течение 200 часов приводит к снижению адгезионной прочности до 95±16 МПа.

ВЫВОДЫ

Установлено, что углеродное волокно бобовидной формы поперечного сечения обладает наибольшей адгезией к применяемым в работе полимерным матрицам.

Углепластики на основе матрицы с меньшей концентрацией термопластичного модификатора характеризуются большей чувствительностью к изменению морфологии поверхности и диаметра углеродного волокна (адгезионная прочность изменилась на 17,4 % для матрицы марки № 1 и на 7,6 % для матрицы марки № 2).

В работе проведен анализ изменения адгезионной прочности волокно-матрица в стеклопластике после различных видов климатического воздействия. Показано, что адгезионная прочность падает до 87% от начальной величины после тепловлажностного старения до равновесного содержания влаги (0,55 масс. %), а затем полностью восстанавливается при высушивании образцов. Сохраняемость адгезионной прочности волокно-матрица после тепловлажностного старения и последующего термоциклирования составила 82 %.

Проведен анализ изменения адгезионной прочности волокно-матрица в полиимидном углепластике после различных видов температурного воздействия. Показано, что адгезионная прочность падает на 12% относительно начальной величины после термоциклирования. Сохраняемость адгезионной прочности волокно-матрица после термического старения при 320 °С в течение 200 часов составила 83 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karger-Kocsis J., Mahmood H., Pegoretti A. Recent advances in fiber/matrix interphase engineering for polymer composites // Progress in Materials Science. 2015. Vol. 73. P. 1...43.

2. Herrera-Franco P.J., Drzal L.T. Comparison of methods for the measurement of fibre/matrix adhesion in composites // Composites. 1992. Vol. 23. P. 2...27.

3. Горбаткина Ю.А., Сопотов Р.И., Горбунова И.Ю. и др. Сравнение различных методов оценки прочности соединений модифицированный эпоксидный полимер - твердое тело // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №1. С. 16...20.

4. Zhou X.-F., Wagner H.D., Nutt S.R. Interfacial properties of polymer composites measured by push-out and fragmentation tests // Composites: Part A. 2001. Vol. 32. P. 1543...1551.

5. Ахматова О.В., Горбаткина Ю.А., Горбунова И.Ю. и др. Влияние наноразмерных частиц глины и термопластичного модификатора на адгезионную прочность соединений эпоксиаминного связующего с волокнами // Пластические массы. 2012. №10. С. 31...35.

6. Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г., Куперман А.М. Адгезия модифицированных эпоксидных матриц к армирующим волокнам // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2016. №5. С. 439...447.

7. Сергеев А.Ю., Турусов Р.А., Баурова Н.И. Определение адгезионной прочности соединений на примере испытаний образцов методом выдергивания волокон из матрицы // Композиты и наноструктуры. 2017. №1. С. 52...62.

8. *Тимошина Ю.А., Морозова И.И., Ю.В. Харапудько и др.* Применение ВЧ-плазмы пониженного давления для повышения адгезии синтетических материалов к полимерным связующим и металлическим покрытиям // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6 (396). С. 146…152.

9. Dai Z., Shi F., Zhang B. etc. Effect of sizing on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion // Applied Surface Science. 2011. Vol. 257. P. 6980...6985.

10. Гуляев А.И. Измерение адгезионной прочности "волокно-матрица" с применением наноиндентирования (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. №3. С. 68...78.

11. Гуляев А.И., Медведев П.Н., Сбитнева С.В., Петров А.А. Экспериментальное исследование по оценке адгезионной прочности волокно-матрица в углепластиках на основе эпоксидного связующего, модифицированного полисульфоном // Авиационные материалы и технологии. 2019. №4. С. 80...86.

12. Гуляев А.И., Сбитнева С.В., Зайцев Д.В., Медведев П.Н. Методические аспекты определения адгезионной прочности волокно-матрица выталкиванием моноволокна индентором // Клеи. Герметики. Технологии. 2023. №4. С. 41...48.

13. Гуляев А.И., Сбитнева С.В. Эволюция адгезионной прочности волокно-матрица в стеклопластике при воздействии климатических факторов // Клеи. Герметики. Технологии. 2023. № 10. С. 9...16.

14. *Гуляев А.И., Сбитнева С.В., Валуева М.И., Зеленина И.В.* Влияние температурных факторов на адгезионную прочность волокно-матрица в полиимидном углепластике // Клеи. Герметики. Технологии. 2025. № 4. С. 8...15.

REFERENCES

1. *Karger-Kocsis J., Mahmood H., Pegoretti A.* Recent advances in fiber/matrix interphase engineering for polymer composites // Progress in Materials Science. 2015. Vol. 73. P. 1...43.

2. *Herrera-Franco P.J., Drzal L.T.* Comparison of methods for the measurement of fibre/matrix adhesion in composites // Composites. 1992. Vol. 23. P. 2...27.

3. *Gorbatkina Yu.A., Sopotov R.I., Gorbunova I.Yu. etc.* Different method comparison of strength evaluation of compositions "modified epoxy polymer-solid substance" // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2015. №1. P. 16...20.

4. *Zhou X.-F., Wagner H.D., Nutt S.R.* Interfacial properties of polymer composites measured by push-out and fragmentation tests // Composites: Part A. 2001. Vol. 32. P. 1543...1551.

5. *Akhmatova O.V., Gorbatkina Yu.A., Gorbunova I.Yu. etc.* The influence of nano-sized clay particles and thermoplastic modifier on the adhesive strength of epoxyamine binder compounds with fibers // Plasticheskie massy. 2012. №10. P. 31...35.

6. *Gorbatkina Yu.A., Ivanova-Mumzhieva V.G., Kuperman A.M.* Adhesion of modified epoxy matrices to reinforcing fibers // Polymer Science, Series A. 2016. V.58. №5. P. 659...666.

7. *Sergeev A.Yu., Turusov R.A., Baurova N.I.* The determination of adhesive bond strength of joints on example of testing specimens using pull-out method // Composites and nanostructures. 2017. №1. P. 52...62.

8. *Timoshina YU.A., Morozova I.I., Kharapudko YU.V. etc.* Application of low-pressure RF plasma to increase the adhesion of synthetic materials to polymer binder and metal coatings // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 6 (396). P. 146…152.

9. *Dai Z., Shi F., Zhang B. etc.* Effect of sizing on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion // Applied Surface Science. 2011. Vol. 257. P. 6980...6985.

10. *Gulyaev A.I.* Fiber-matrix adhesion strength measurement using nanoindentation (review) // Proceedings of VIAM. 2019. №3. P. 68...78.

11. *Gulyaev A.I., Medvedev P.N., Sbitneva S.V., Petrov A.A.* Experimental research of "fiber-matrix" adhesion strength in carbon fiber epoxy/polysulphone composite // Aviation materials and technologies. 2019. №4. P. 80...86.

12. *Gulyaev A.I., Sbitneva S.V., Zaytsev D.V., Medvedev P.N.* Methodological aspects of adhesive strength determination of fiber-matrix by ejection of monofilament with indenter // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2023. №4. P. 41...48.

13. *Gulyaev A.I., Sbitneva S.V.* Evolution of adhesive strength of fiber-matrix in fiberglass under influence of climatic factors // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2023. № 10. P. 9...16.

14. *Gulyaev A.I., Sbitneva S.V., Valueva M.I., Zelenina I.V.* Influence of temperature factors on adhesive strength of fiber-matrix in polyimide carbon-filled plastic // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2025. № 4. P. 8...15.

Рекомендована организационным комитетом XXI Международной научно-практической конференции "Новые полимерные композиционные материалы". Поступила 11.11.25.

УДК 004.43
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_361

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕНЫ ПРОПРИЕТАРНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НА ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

METHODOLOGICAL ASPECTS OF REPLACING PROPRIETARY SOFTWARE WITH OPEN-SOURCE SOLUTIONS IN THE TASKS OF COMPREHENSIVE ANALYSIS OF TEXTILE COMPOSITES

И.А.СУВОРОВ[1], А.И.САМСОНОВА[2], В.Б. КУЗНЕЦОВ[3]

I.A. SUVOROV[1], A.I. SAMSONOVA[2], V.B. KUZNETSOV[3]

**([1]Ивановский государственный химико-технологический университет,
[2]Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
[3]Ивановский государственный политехнический университет)**

**([1]Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
[2]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
[3]Ivanovo State Polytechnic University)**

E-mail: suvorov@live.it, alenyshka.2016.samsonova@mail.ru, kuznetsovtex@gmail.com

В статье рассматриваются методические аспекты замены зарубежных проприетарных программных средств открытыми программными решениями, применяемыми в задачах комплексного анализа текстильных композитов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения технологической независимости и снижения рисков, связанных с использованием закрытого программного обеспечения. В качестве базовой платформы для замены проприетарного программного обеспечения наибольший интерес представляет использование решений с открытым исходным кодом, созданных на базе открытых языков программирования, в частности мультипарадигменного высокоуровневого языка программирования Python как основы для перехода и последующей разработки программных решений. Ключевым направлением исследования является формализация и методическое сопровождение процесса миграции от проприетарной среды MATLAB на открытые решения в задачах численного анализа композиционных материалов. Выполнена методическая и технологическая оценка возможностей перехода от MATLAB к экосистеме Python. В целях практической проверки предложенного подхода проведена экспериментальная верификация пере-

носа алгоритма обработки цифровых изображений плоских нетканых армирующих структур из среды MATLAB в экосистему Python. Проанализированы соответствия между инструментальными средствами MATLAB и библиотеками Python, реализующими задачи численного моделирования, обработки изображений, компиляции и распространения программных решений. Разработана функциональная модель перехода от MATLAB к решениям на базе Python, формализующая этапы их декомпозиции, реализации и последующей верификации. Проведенное исследование показало, что переход от проприетарных программных средств к открытой программной экосистеме в задачах комплексного анализа текстильных композитов является методически обоснованным и практически реализуемым без утраты функциональных возможностей. Определены ключевые организационно-методические условия успешной миграции, включая адаптацию архитектуры программных средств, регламентацию процедур переноса и обеспечение сопоставимости вычислительных результатов.

The article examines the methodological aspects of replacing foreign proprietary software tools with open-source solutions used in the comprehensive analysis of textile composites. The relevance of the study is determined by the need to ensure technological independence and to reduce risks associated with the use of closed-source software. As a basic platform for substituting proprietary software, solutions based on open-source programming languages are of particular interest, especially the multiparadigm high-level programming language Python, which serves as a foundation for migration and further software development. The key focus of the research is the formalization and methodological support of the migration process from the proprietary MATLAB environment to open-source solutions in numerical analysis tasks related to composite materials. A methodological and technological assessment of the feasibility of transitioning from MATLAB to the Python ecosystem has been carried out. To practically validate the proposed approach, an experimental verification of porting an algorithm for digital image processing of planar nonwoven reinforcing structures from MATLAB to the Python ecosystem was performed. Correspondences between MATLAB tools and Python libraries implementing numerical modeling, image processing, compilation, and software distribution tasks were analyzed. A functional model for migration from MATLAB to Python-based solutions was developed, formalizing the stages of decomposition, implementation, and subsequent verification. The conducted study has shown that the transition from proprietary software tools to an open software ecosystem in the tasks of comprehensive analysis of textile composites is methodologically justified and practically feasible without any loss of functionality. Key organizational and methodological conditions for successful migration were identified, including software architecture adaptation, regulation of migration procedures, and ensuring the comparability of computational results.

Ключевые слова: текстильный композит; автоматизированное проектирование; проприетарные программные средства; цифровая инженерия материалов, комплексный анализ.

Keywords: textile composite; computer-aided design; proprietary software tools; digital materials engineering; complex analysis.

Введение

В условиях действующих внешнеэкономических ограничений и технологических рисков, связанных с использованием зарубежного проприетарного программного обеспечения, одной из приоритетных задач является обеспечение технологической независимости за счет перехода на функционально эквивалентные отечественные либо открытые программные решения. В качестве основного варианта миграции наибольший интерес представляет использование открытых языков программирования, в частности мультипарадигменного высокоуровневого языка программирования Python как основы для перехода и последующей разработки программных решений. В работе рассматриваются методические аспекты замены проприетарных программных средств, в частности программной платформы MATLAB, которая одновременно представляет собой среду разработки и язык технических расчетов и предназначена для решения широкого спектра инженерных и научных задач любой сложности в любых отраслях (https://exponenta.ru/matlab (дата обращения: 14.01.2026)). В своей основе MATLAB использует матричные структуры данных, набор математических функций, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования, и пр. [1]. Несмотря на ряд преимуществ, использование MATLAB сопряжено с определенными ограничениями. Рассматриваемый программный продукт функционирует преимущественно в рамках собственной замкнутой экосистемы и демонстрирует ограниченную эффективность при интеграции с другими программными платформами. Кроме того, значительная часть реализуемых алгоритмов является проприетарной, что исключает возможность доступа к исходному коду и затрудняет их анализ и модификацию [1]. Ранее при помощи среды MATLAB нами был разработан и реализован ряд программных процедур, систем и комплексов, предназначенных для анализа и моделирования волокнистых капиллярно-пористых армирующих структур [2]. Разработанные программные средства обеспечивают синтез трехмерных моделей текстильных композитов с использованием методологии численного объектно-ориентированного моделирования. Кроме того, разработанные программные продукты позволяют выполнять анализ параметров, определяющих плотность распределения волокон в плоских нетканых армирующих структурах, на основе обработки их цифровых изображений методом бинарной пороговой сегментации [2]. Системы используют встроенные возможности среды MATLAB для обработки и вычислений данных, получаемых в ходе проводимых исследований.

Существенным фактором, упрощающим переход к открытым программным решениям, является то обстоятельство, что ключевые алгоритмы, используемые в разработанных программных средствах, уже сформированы и методически отработаны в среде MATLAB [3]. Фактически на данном этапе речь идет не о разработке новых вычислительных подходов, а о переносе существующих алгоритмических схем в иную программную экосистему. В основе разработанных программ использовались такие встроенные инструменты MATLAB, как система блочного моделирования Simulink, инструмент для преобразования программ и алгоритмов MATLAB Compiler и инструмент бинаризации изображения с использованием локально адаптивного порогового значения. Для реализации перехода от проприетарных программных средств к открытым решениям в задачах численного анализа текстильных композиционных материалов наиболее целесообразным является использование открытых и свободно распространяемых аналогов. За основу в качестве перехода выбран открытый высокоуровневый язык программирования Python. Выбор языка программирования Python обусловлен рядом преимуществ, таких как расширяемость, гибкость, интерпретируемость, кроссплатформенность и стандартизированность. Следует также отметить одно из важных преимуществ – его широкую распространенность и популярность в

профессиональном сообществе разработчиков, что обеспечивает доступ к аналитическим материалам, методическим рекомендациям и свободно распространяемым библиотекам [4].

В контексте рассмотрения альтернативы системе блочного моделирования Simulink в экосистеме Python следует отметить, что прямого функционального аналога данного инструмента не существует, поскольку Simulink объединяет несколько концептуальных направлений, таких как визуальное блочное моделирование, численное интегрирование динамических систем, использование специализированных библиотек управления и обработки сигналов, а также средства кодогенерации. В экосистеме Python указанные возможности реализуются посредством совокупности взаимодополняющих инструментов, что обеспечивает более гибкий и модульный подход к построению моделей [5].

С точки зрения системного моделирования наибольший интерес представляет язык OpenModelica, основанный на декларативном описании уравнений и компонентной архитектуре [6],и, в частности, подсистема платформы OpenModelica OMPython. OMPython – это свободный и кроссплатформенный API для работы с OpenModelica в среде Python (https://openmodelica.org/free-and-open-source-software/ompython/ (дата обращения: 05.02.2026)). В отличие от сигнально-блочной парадигмы среды Simulink, компонентный подход OpenModelica ориентирован на описание физических закономерностей и взаимосвязей между элементами системы, что особенно эффективно при разработке физических моделей. Декларативная форма задания уравнений способствует масштабируемости моделей, упрощает модификацию структуры системы и повышает формальную прозрачность математического описания. Средствами численного моделирования и анализа в Python выступают специализированные библиотеки, прежде всего библиотека SciPy (https://docs.scipy.org/doc/scipy/ (дата обращения: март 2026)). В состав библиотеки SciPy интегрированы методы численного интегрирования, линейной алгебры, спектрального анализа и обработки сигналов, что позволяет реализовать широкий спектр инженерных и научных задач. Существенным преимуществом SciPy является полная программная управляемость вычислительного процесса, воспроизводимость результатов и возможность тонкой настройки алгоритмов, что особенно важно в исследовательской практике.

Замена MATLAB Compiler в экосистеме Python реализуется через набор инструментов упаковки и компиляции, обеспечивающих различные сценарии распространения программных решений. Утилиты типа PyInstaller позволяют формировать автономные исполняемые файлы, упрощая внедрение и распространение приложений без необходимости явной установки интерпретатора (https://docs.astralinux.ru/latest/desktop/python/pyinstaller/ (дата обращения: 09.02.2026); https://pyinstaller.org/en/stable/ (дата обращения: март 2026)).Инструменты более глубокого уровня, такие как Nuitka, осуществляют трансляцию Python-кода в компилируемый нативный код, что расширяет возможности оптимизации и интеграции с системным программным обеспечением. Дополнительно применяются технологии создания бинарных расширений Cython, pybind11, позволяющие выносить вычислительно критичные участки кода в компилируемые модули и тем самым повышать производительность программных компонентов при сохранении гибкости архитектуры (https://cython.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: март 2026)).

Задачи локально адаптивной бинаризации изображений в Python выполняются с использованием библиотеки scikit-image, предоставляющей широкий набор алгоритмов обработки изображений с четко формализованной математической основой. Библиотека scikit-image ориентирована на решение исследовательских задач и характеризуется прозрачностью алгоритмической реализации, а также модульной организацией методов обработки, что способствует обеспечению воспроизводимости вычислительных результатов и расширяемости программных средств.

В рамках настоящего исследования разработана функциональная модель перехода от MATLAB к экосистеме Python (рис. 1), отражающая структуру процесса миграции алгоритмов численного анализа текстильных композиционных материалов, включая входные данные, управляющие воздействия, используемые механизмы и формируемые выходные результаты. Данная модель предназначена для формализации методических этапов миграции, обеспечения воспроизводимости вычислений и систематизации взаимосвязей между исходными алгоритмами MATLAB, критериями точности, требованиями нормативной документации и инструментальными средствами реализации на базе Python.

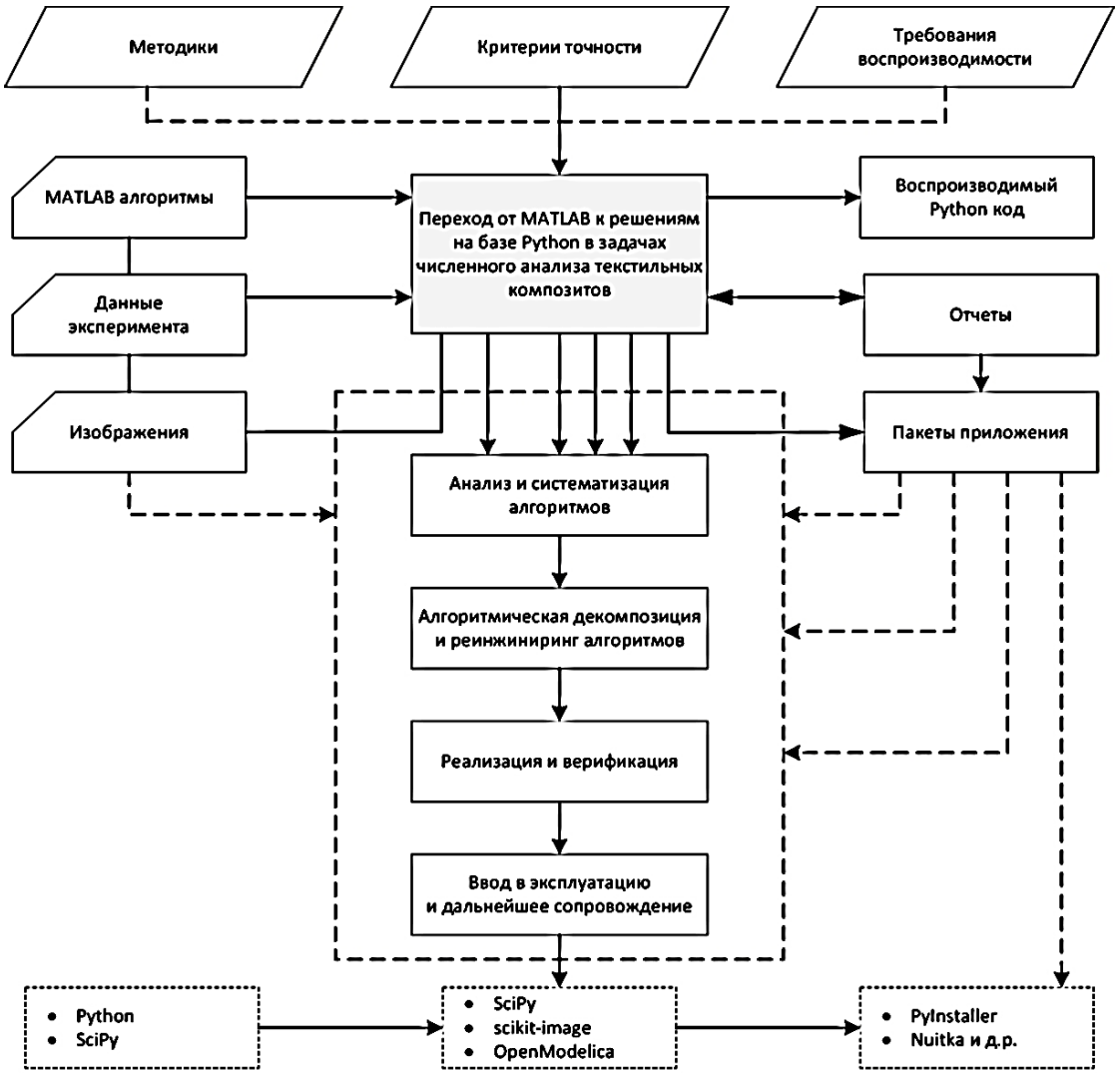


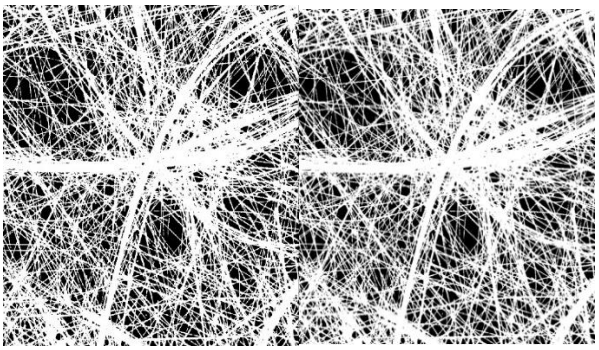
Рис. 1

Модель позволяет последовательно структурировать процессы алгоритмической декомпозиции, функциональной реконструкции, реализации, верификации и внедрения программного обеспечения, гарантируя научную обоснованность и управляемость перехода на новую программную экосистему.

Поскольку плотность распределения волокон является одной из ключевых структурных характеристик плоских нетканых армирующих полотен, используемых в качестве основы текстильных композиционных материалов, количественная оценка данного параметра по цифровым изображениям поверхности позволяет выявлять неоднородности волокнистой структуры, прогнозировать локальные изменения физико-механических свойств и осуществлять инструментальный контроль качества на

стадии производства. Численный анализ изображения в данном случае сводится к идентификации и выделению геометрии волокон, что требует применения устойчивых алгоритмов преобразования и сегментации изображения с сохранением структурной информации.

Для экспериментальной верификации корректности перехода от среды MATLAB к экосистеме Python в рамках настоящего исследования выбрана функция обработки изображений, реализующая последовательность операций, аналогичную используемому ранее MATLAB-коду. Она включает чтение полноцветного изображения, преобразование диапазона яркости (по аналогии с функцией *imadjust*), последующую бинаризацию функцией (по аналогии с функцией *im2bw*) и вычисление соотношения черных и белых пикселей. В реализации на Python при помощи библиотеки scikit-image цветное изображение загружается по заданному пути к файлу, после чего выполняется преобразование в полутоновое представление (https://scikit-image.org/docs/stable/ (дата обращения: март 2026)). Далее выполняется линейная нормализация яркости в заданном диапазоне интенсивностей с отсечением значений, выходящих за установленные пределы, что обеспечивает усиление контраста волокнистой структуры и подавление искажений. Полученное изображение подвергается бинарной пороговой сегментации по методу Оцу, позволяющему автоматически определить оптимальный порог разделения пикселей на два класса на основе минимизации внутриклассовой дисперсии.



а) б)

Рис. 2

В результате бинаризации формируется изображение (рис. 2: а – в среде MATLAB; б – в Python), пиксели которого принимают только два значения – 0 и 1, что соответствует разделению областей волокон и фона. В целях верификации корректности переноса алгоритма обработки изображений сопоставлены результаты, полученные в средах MATLAB и Python при анализе одного и того же цифрового изображения размером 1000×1000 пикселей. В среде MATLAB количество пикселей, отнесенных к классу волокон (белые пиксели), составило $6{,}41964\times10^5$ при общем числе 10×10^5 пикселей, что соответствует коэффициенту поверхностной плотности k=0,641964. В реализации на Python аналогичный показатель составил $6{,}41583\times10^5$ пикселей и k=0,641583. Абсолютное расхождение по коэффициенту поверхностной плотности составило 0,000381, что эквивалентно относительной погрешности порядка 0,059 %. Подобное отклонение находится в пределах численной чувствительности алгоритмов бинарной сегментации и обусловлено различиями внутренней реализации процедур обработки изображений, не влияющими на интерпретацию структурных характеристик материала.

Сравнение вычислительных характеристик показало, что время выполнения алгоритма в MATLAB составило 0,027 с, тогда как в Python – 0,0522 с, что свидетельствует о незначительном увеличении времени обработки при сохранении идентичности результата. При этом суммарное потребление оперативной памяти в MATLAB оказалось существенно выше (затрачено 194,55 МБ), тогда как реализация на Python продемонстрировала более компактное использование памяти (35,05 МБ), задействованной непосредственно в ходе выполнения программы. Полученные данные подтверждают функциональную эквивалентность алгоритмов и корректность методики их реконструкции при переходе к открытой программной экосистеме, а выявленные различия носят исключительно технический характер и не влияют на достоверность оценки поверхностной плотности волокнистой структуры.

В методическом аспекте переход от MATLAB к Python предполагает не только сопоставление библиотек и инструментальных средств, но и пересмотр логики организации вычислительных экспериментов. Среда MATLAB ориентирована на высокую степень интеграции инструментов и реализацию вычислительных сценариев в рамках единой экосистемы. Экосистема Python, напротив, предполагает модульный принцип построения программных решений, основанный на композиции независимых библиотек и компонентов, что требует формализации архитектуры программного комплекса, явного управления зависимостями и стандартизации потоков данных. С методической точки зрения переход обусловливает необходимость разработки единых соглашений по структуре проектов. Особое значение приобретает методика переноса и проверки алгоритмов. Прямая построчная трансляция MATLAB-кода в Python не всегда является рациональной вследствие различий в моделях представления данных, механизмах векторизации и особенностях численных реализаций, что может повлиять на точность и производительность вычислений. Более корректным является подход функциональной реконструкции, при котором алгоритм предварительно формализуется на концептуальном уровне (математическая постановка, входные и выходные параметры, ограничения), после чего реализуется средствами Python с учетом специфики используемых библиотек и архитектурных решений.

Важным методическим обстоятельством, существенно упрощающим переход к экосистеме Python, является наличие сформированной алгоритмической структуры ранее разработанных программных средств в среде MATLAB. Каждая реализованная процедура базируется на явно определенных вычислительных алгоритмах, математических моделях и последовательностях обработки данных [7]. Наличие такой алгоритмической декомпозиции означает, что ключевые принципы функционирования программных компонентов не требуют концептуального пересмотра при смене программной экосистемы. Фактически задача переноса сводится к воспроизведению уже апробированных алгоритмов с использованием альтернативных библиотек и инструментов Python, что снижает риски методических ошибок, упрощает верификацию результатов и обеспечивает преемственность вычислительных экспериментов.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ двух программных экосистем позволил дать комплексную методическую и технологическую оценку возможности замены проприетарной платформы открытыми решениями в задачах численного анализа текстильных композитов. Показано, что экосистема MATLAB обладает высокой степенью интеграции и развитой специализированной функциональностью, однако характеризуется ограниченной гибкостью и зависимостью от закрытых алгоритмов. В то же время экосистема Python обеспечивает сопоставимый уровень функциональности при условии корректной архитектурной организации и модульной интеграции библиотек.

В рамках проведенного анализа разработана функциональная модель перехода от MATLAB к Python в задачах численного анализа текстильных композиционных материалов. Построенная модель формализует структуру процесса миграции, отражая входные данные, управляющие воздействия, используемые механизмы и формируемые результаты на каждом этапе перехода.

Экспериментальная верификация переноса алгоритма обработки цифровых изображений волокнистых структур показала высокую степень совпадения полученных данных. Расхождение коэффициента поверхностной плотности составило 0,059 %, что находится в пределах численной чувствительности применяемых методов. Полученные результаты подтверждают корректность реконструкции алгоритма и его функциональную эквивалентность при реализации в иной программной среде.

Проведенная оценка подтверждает целесообразность перехода к открытой про-

граммной экосистеме с точки зрения повышения технологической независимости, расширяемости и воспроизводимости. При этом практическая реализация требует учета особенностей, связанных с адаптацией архитектуры и обеспечением сопоставимости вычислительных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ершов С.В., Суворов И.А., Кожевников С.О.и др.* Метод бинаризации как основа структурного анализа поверхностной плотности нетканого наполнителя композитного материала // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 1 (100). С. 9…19.

2. *Суворов И.А.* Разработка автоматизированной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с использованием систем обработки изображений // Изв. вузов. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2022. № 3 (53). С. 101…108. – DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619.

3. *Ершов С.В., Реймер В., Калинин Е.Н., Грис Т.* Разработка системы компьютерного зрения для измерения направленности волокон в плетеных структурах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5 (383). С. 204…208.

4. *Буйначев С.К., Боклаг Н.Ю.* Основы программирования на языке Python: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/28769/1/978-5-7996-1198-9_2014.pdf (дата обращения: 23.03.2026).

5. *Делков А.В., Кирбижекова В.В., Ермиенко И.Ю.* Применение среды OpenModelica для моделирования системы жидкостного охлаждения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. № 14. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sredy-openmodelica-dlya-modelirovaniya-sistemy-zhidkostnogo-ohlazhdeniya (дата обращения: 23.03.2026).

6. *Сениченков Ю.Б.* Опыт использования OpenModelica. – URL: http://simulation.su/uploads/files/default/nss-seminar-prez-2021-11-27-senichenkov-rus.pdf (дата обращения: 11.02.2026).

7. *Самсонова А.И.* Анализ моделей машинного обучения, применяемых в задачах текстильного производства // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2025).2025. С. 124…127.

REFERENCES

1. *Ershov S.V., Suvorov I.A., Kozhevnikov S.O. etc.* Binarization method as a basis for structural analysis of the surface density of a nonwoven filler in composite materials // Bulletin of Cherepovets State University. 2021. No. 1 (100), pp. 9…19.

2. *Suvorov I.A.* Development of an automated system for analyzing the quality of a textile surface of a fiber-composite layer using image processing systems // Proceedings of Higher Educational Institutions. Series: Economics, Finance and Production Management. 2022. No. 3 (53), pp. 101…108. – DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619.

3. *Ershov S.V., Reimer V., Kalinin E.N., Gris T.*Development of a computer vision system for measuring the fiber orientation in braided structures// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.2019. No. 5 (383), pp. 204…208.

4. *Buinachev S.K., Boklag N.Yu.* Fundamentals of Programming in Python: textbook. Yekaterinburg: Ural Federal University Publishing House, 2014. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/28769/1/978-5-7996-1198-9_2014.pdf (accessed: March 23, 2026).

5. *Delkov A.V., Kirbizhekova V.V., Ermiyenko I.Yu.* Application of the OpenModelica environment for modeling a liquid cooling system // Actual Problems of Aviation and Cosmonautics. 2018. No. 14. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sredy-openmodelica-dlya-modelirovaniya-sistemy-zhidkostnogo-ohlazhdeniya (accessed: March 23, 2026).

6. *Senichenkov Yu.B.* Experience of using OpenModelica. – URL: http://simulation.su/uploads/files/default/nss-seminar-prez-2021-11-27-senichenkov-rus.pdf (accessed: February 11, 2026).

7. *Samsonova A.I.* Analysis of machine learning models used in textile production tasks // Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, High-Tech Technologies and Materials (SMARTEX-2025). 2025, pp. 124…127.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и цифровой экономики ИГХТУ. Поступила 10.03.26.

УДК 677.08+675.8
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_369

ПЕРЕРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ

RECYCLING OF TEXTILE WASTE

Ю.А. ЩЕПОЧКИНА

Yu.A. SHCHEPOCHKINA

**(Ивановский государственный политехнический университет,
Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет)**

**(Ivanovo State Polytechnical University,
Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology)**

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

Отмечено, что в Российской Федерации перерабатывается всего лишь около 3 % текстильных отходов. Особенно тяжелая ситуация складывается с отходами бытового и производственного потребления. Использование таких отходов в качестве вторичного сырья для изготовления промышленной продукции позволило бы существенно расширить сырьевую базу текстильной и других отраслей промышленности, содействовало бы сокращению затрат на импортное сырье. Обращено внимание на приоритетность исследований, направленных на создание технологий получения восстановленных волокон из вторичного сырья. Рассмотрен некоторый положительный опыт получения волокнистой массы из текстильных отходов. Сказано об актуальности переработки капрона с учетом способности этого материала к плавлению, формообразованию и высокого процента выхода полезного продукта. Показано, что основными сдерживающими факторами широкого вовлечения вторичного текстиля в хозяйственный оборот являются не только существенные материальные затраты на его переработку, но и отсутствие стабильности в поставках сырья (собственно самих этих отходов) на перерабатывающие предприятия. Приведена примерная модель построения логистических цепей движения текстильных отходов потребления на переработку.

It has been noted that only about 3% of textile waste is recycled in the Russian Federation. The situation is particularly difficult with household and industrial waste. Using such waste as a secondary raw material for manufacturing industrial products would significantly expand the raw material base for the textile and other

industries. This would reduce the cost of purchasing imported raw materials. Attention is drawn to the priority of research aimed at creating technologies for obtaining recovered fibers from secondary raw materials. Some positive experience in obtaining a fibrous mass from textile waste is considered. The relevance of processing nylon is discussed, given the ability of this material to melt, form, and produce a high percentage of useful product. It has been shown that the main obstacles to the widespread use of recycled textiles are not only the significant material costs associated with their processing, but also the lack of stability in the supply of raw materials (the waste itself) to processing facilities. An approximate model for building logistics chains for the movement of textile waste for recycling is provided.

Ключевые слова: текстильные отходы потребления, переработка, технология, вторичное сырье, восстановленные волокна, импортозамещение, логистика.

Keywords: textile waste, recycling, technology, secondary raw materials, recovered fibers, import substitution, logistics.

В последние десятилетия в Российской Федерации существенно усугубилась проблема переработки вторичного текстильного сырья. Это, на наш взгляд, связано с двумя основными причинами.

Начиная с 1980-х годов в составе текстильных изделий стала увеличиваться доля смешанных волокон с преобладанием синтетики. Более 85 % таких изделий выпускаются и в настоящее время [1].

Другая причина – увеличение объемов импорта и собственного выпуска текстильной продукции при резком сокращении жизненного цикла изделий [2…4].

В Российской Федерации перерабатывается всего лишь около 3 % текстильных отходов (в мире этот показатель достигает 12…15 % [4, 5]). В стране ежегодно не менее 2 млн т текстильных отходов направляется на свалки, включая отходы бытового и производственного потребления [6].

Особенно тяжелая ситуация складывается с отходами потребления, к которым относят тряпье (шерстяное, полушерстяное, хлопчатобумажное, льняное, полульняное и смешанное, для обтирочной ветоши, из синтетических и искусственных волокон, низкосортное), шубнину, валяльно-войлочные изделия, мешковину, стеганые изделия, крученые изделия. Вместе с тем такие отходы следует рассматривать как вторичное сырье для изготовления промышленной продукции. В этом случае переработка вышедших из употребления изделий позволит существенно расширить сырьевую базу текстильной и других отраслей промышленности за счет отечественных ресурсов и, безусловно, будет содействовать импортозамещению.

Все направляемое на переработку вторичное текстильное сырье, как правило, подлежит сортировке, предусматривающей его разделение по составу, способу выработки, удаление не текстильных включений. Сырье из сферы производственного потребления подлежит не только сортировке, но и мойке или химической чистке, а из сферы бытового потребления – дополнительно дезинфекции. При сортировке текстильных отходов потребления целесообразно сразу учитывать требования к планируемой продукции, то есть к тем материалам и изделиям, которые намечено изготавливать с применением этих отходов.

Нами предлагается группировать вместе текстильные отходы на основе: шерсти или различных смесок с шерстью; натурального шелка; хлопка и вискозы; лубяных волокон; капрона; синтетических волокон, кроме капрона; волокон, состав которых трудно определить в качественном и количественном отношении.

Нужно отметить, что из всей массы текстильных отходов только около 1 % перерабатывается в новый текстиль [5]. При этом к настоящему времени имеется весьма цен-

ный опыт получения волокнистой массы из текстильных отходов с последующей переработкой ее в товарную продукцию.

В Узбекистане, например, приоритетными считаются исследования, направленные на использование вторичных текстильных ресурсов, включая создание технологий получения восстановленных волокон на основе переработки отходов, содержащих нити. Основной целью переработки состоящего из нитей вторичного сырья является получение волокнистой массы, то есть волокнистого продукта, вырабатываемого путем расщепления пряжи на отдельные волокна [7, 8]. При этом важно получение продукта, подходящего для дальнейшего использования в текстильной отрасли. Необходимо также сохранение имеющихся реальных свойств и характеристик восстановленных волокон. В частности, при изготовлении пряжи рекомендуется добавлять в сырьевую смесь до 8 % восстановленных волокон, в производстве нетканых материалов – до 50 %. Заметим, что есть опыт выработки пряжи из 100 % регенерированных отходов [9].

Положительный опыт получения волокнистой массы из текстильных отходов имеется и в Российской Федерации. В качестве примера можно привести превращение вторичного текстиля в пряжу с использованием технологии разволокнения в Ивановской области («Laut Recycling», «ЭкоМир»). На перерабатывающем предприятии одежда, вышедшая из употребления, разволокняется и служит вторичным сырьем для производства пряжи и выпуска товарной продукции (перчаток). Причем в составе выпускаемых изделий в равных пропорциях использованы текстильные отходы потребления и производства. Изделия, непригодные для получения нити, идут в производство ватина и других нетканых материалов. То есть к настоящему времени в стране имеются достаточно отлаженные технологии переработки вторичного текстиля в товарную продукцию.

Обратим внимание на то, что помимо разволокнения вторичного текстиля существуют и иные перспективные направления переработки текстильных отходов [4, 6, 10…19]. Актуальна, в частности, переработка старых изделий (рыболовные сети, упаковочные материалы, одежда и др.) из капрона. Учитывая способность этого материала к плавлению и формообразованию, переработку капрона можно вести литьевым способом, при котором полезный выход продукта достигает 90…93 % [19]. Результативны пиролиз текстильных отходов потребления, их сжигание с целью выработки тепловой энергии, получение искусственной почвы из лигноцеллюлозных отходов [10, 11, 18] и др. Интересна технология разложения волокон полиэтилентерефталата бактериями с образованием терефталевой кислоты и этиленгликоля [20].

Одним из сдерживающих факторов широкого вовлечения вторичного текстиля в хозяйственный оборот является то, что его переработка требует немалых материальных затрат и может оказаться убыточной [6]. Помимо этих затрат есть еще причина, сдерживающая использование отходов потребления. Она заключается в отсутствии стабильности в поставках сырья (собственно самих этих отходов) на перерабатывающие предприятия.

Стабильные поставки текстильных отходов возможны с полигонов и свалок, что является достаточно трудной в техническом исполнении задачей. Образующиеся в больших объемах отходы производственного потребления в виде изношенных изделий могут поставляться на переработку централизованно, но стабильности в поставках ожидать не следует. Нельзя полагаться на бесплатный сбор отходов бытового потребления, получаемых от населения, и тем более на стабильность поставок.

Как показывает практика, переработка текстильных отходов потребления требует рациональной организации сбора и экономии сырья. Естественно, что этот процесс предусматривает использование различных вариантов работы с отходами, отличающихся друг от друга технологическими решениями и используемым оборудованием. Предполагается, что независимо от выбранного направления переработки вторичного текстиля все участники этого процесса – поставщики отходов, складское, транспорт-

ное хозяйство и др. – взаимодействуют в управляемых логистических цепях. Ниже приведена примерная модель построения логистических цепей движения текстильных отходов потребления на переработку (рис. 1).

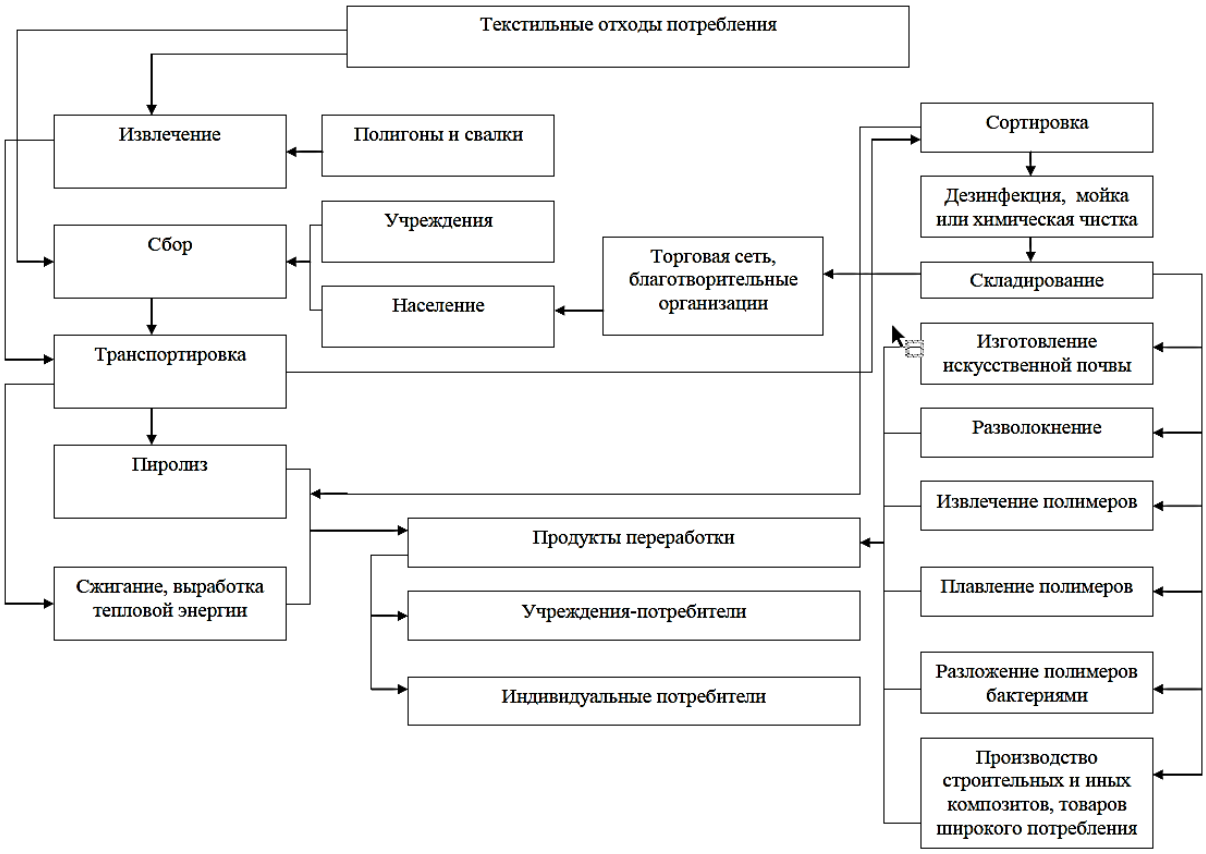


Рис. 1

Обозначенная нами проблема переработки текстильных отходов потребления в товарную продукцию в Российской Федерации пока не решена, однако к настоящему времени уже наметились серьезные положительные тенденции к ее решению. Изучение накопленного в стране и зарубежного опыта работы с текстильными отходами может оказаться полезным при выборе рациональных технологий их переработки и максимально полного вовлечения в хозяйственный оборот.

ВЫВОДЫ

1. При правильной организации переработка текстильных отходов потребления позволит существенно расширить сырьевую базу текстильной и других отраслей промышленности за счет отечественных ресурсов, что будет содействовать сокращению затрат и импортозамещению сырья.

2. Для широкого вовлечения вторичного текстиля в хозяйственный оборот необходимо выбирать варианты его переработки с минимальными затратами, эффективно решать проблемы логистики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федорова Т.А., Гаврилова А.Е.* Получение сырьевых ресурсов в переработке текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6 (408). С. 5…10.

2. *Оборин М.С., Савельев И.И.* Современные достижения в текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 17…23.

3. *Макарова Н.С., Генералова А.В., Квач Н.М., Береснев Д.Н.* Инновации инфраструктуры и возможности расширения сырьевой базы легкой промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 4 (412). С. 87…92.

4. *Каюмова Р.Ф., Гирфанова Л.Р.* К вопросу использования текстильных отходов и бывшей в

употреблении одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 87…92.

5. *Манушин Д.В.* Импортозамещение в текстильной промышленности в санкционных условиях: проблемы и меры по управлению ими // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6. С. 72…80.

6. *Голов Р.С., Костыгова Л.А., Смирнов В.Г.* Использование текстильных отходов: анализ состояния и перспективы развития // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 241…250.

7. *Атаханов А.К.* Совершенствование технологии изготовления волокнистой массы из нитесодержащих текстильных вторичных ресурсов: автореф. дис. … д-ра филос. по техн. наукам. Наманган, 2023. 50 с.

8. *Кадникова О.Ю.* Методы и устройства переработки отходов швейно-трикотажной промышленности. Рудный: РИИ, 2017. 185 с.

9. *Махкамова Ш.Ф., Валиева З.Ф.* Исследование возможности использования регенерированных волокнистых отходов в пневмопрядении // Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь. Витебск, 2020. С. 58…61.

10. *Голубев В.П., Богач В.Н., Мазовка В.Н., Шевчик Н.Е.* Оценка возможности использования отходов текстильного тряпья и изношенной одежды для получения тепловой энергии // Энергоэффективность. 2021, ноябрь. С. 28…31.

11. *Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиатдинова Д.Ф.* Пирогенетическая переработка органических отходов текстильной промышленности в адсорбенты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 229…235.

12. *Гильмутдинова Е.В.* Вторсырье как современный материал для дизайна одежды // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности. Ч. 4. М., 2018. С. 41…43.

13. *Филатова Е.В.* Экологически адаптированные технологии в fashion-индустрии // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности. Ч. 4. М., 2018. С. 175…178.

14. *Азанова А.А., Хисамиева Л.Г.* Технологии переработки текстильных отходов: проблемы и перспективы // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 257…263.

15. *Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Румянцев Е.В. и др.* Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6 (396). С. 21…29.

16. *Щепочкина Ю.А.* Возможности применения текстильных отходов в производстве строительных материалов и изделий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5 (407). С. 184…191.

17. *Зимина Е.Л., Коган А.Г., Ольшанский В.И.* Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов. Витебск: ВГТУ, 2019. 230 с.

18. *Голубев И.Г., Шванская И.А., Коноваленко Л.Ю., Лопатников М.В.* Рециклинг отходов в АПК: справочник. М.: Росинформагротех, 2011. 296 с.

19. *Щепочкина Ю.А.* Перспективные направления переработки технологических отходов текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 243…251.

20. *Шанюонг Джан, Меркулова Т.А.* Модификации полиэтилентерефталата // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2017). 2017. С. 173…178.

R E F E R E N C E S

1. *Fedorova T.A., Gavrilova A.E.* Obtaining of raw material resources in textile materials processing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 6 (408). P. 5…10.

2. *Oborin M.S., Savelev I.I.* Modern achievements in textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 1 (409). P. 17…23.

3. *Makarova N.S., Generalova A.V., Kvach N.M., Beresnev D.N.* Infrastructure innovations and opportunities for expanding the raw material base of light industry// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 4 (412). P. 87…92.

4. *Kayumova R.F., Girfanova L.R.* On the issue of using textile waste and used clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 2 (392). P. 87…92.

5. *Manushin D.V.* Import substitution in the textile industry under sanctions conditions: problems and measures to manage them // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 6. P. 72…80.

6. *Golov R.S., Kostygova L.A., Smirnov V.G.* The use of textile waste: analysis of the state and prospects of development // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 5. P. 241…250.

7. *Atakhanov A.K.* Improvement of the Technology of Making Fiber Mass from Thread-Containing Textile Secondary Resources: Abstract of Doctor of Philosophy in Technical Sciences Dissertation. Namangan, 2023. 50 p.

8. *Kadnikova O.Yu.* Methods and devices for processing waste from the garment and knitting industry. Rudny: RII, 2017. 185 p.

9. *Makhkamova Sh.F., Valieva Z.F.* Investigation of the possibility of using regenerated fibrous waste in pneumatic spinning // Progressive technologies and

equipment: textiles, clothing, footwear. Mater. dokl. International scientific and practical the symposium. Vitebsk, 2020. P. 58…61.

10. *Golubev V.P., Bogach V.N., Mazovka V.N, Shevchik N.E.* Assessment of the possibility of using waste textile rags and wom-out clothes to generate thermal energy // Energy efficiency. 2021, november. P. 28…31.

11. *Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F*. Textile industry organic waste pyrogenetic processing into adsorbents // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 5(395). P. 229…235.

12. *Gilmutdinova E.V.* Recyclables as a modern material for fashion design // Design, technologies and innovations in textile and light industry. P. 4. Moscow, 2018. P. 41…43.

13. *Filatova E.V.* Environmentally adapted technologies in the fashion industry // Design, technology and innovation in the textile and light industry. P. 4. Moscow, 2018. P. 175…178.

14. *Azanova A.A., Khisamiyeva L.G.* Textile waste processing technologies: problems and prospects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3 (405). P. 257…263.

15. *Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Rumyantsev E.V. etc.* The use of textile industry waste in the production of building composites // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 6 (396). P. 21…29.

16. *Shchepochkina Yu.A.* The possibilities of using textile waste in the production of building materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 5 (407). P. 184…191.

17. *Zimina E.L., Kogan A.G., Olshansky V.I.* Technological and theoretical foundations of obtaining materials using textile waste. Vitebsk: VGTU, 2019. 230 p.

18. *Golubev I.G., Shvanskaya I.A., Konovalenko L.Yu., Lopatnikov M.V.* Waste Recycling in the Agro-Industrial Complex: A Handbook. Moscow: Rosinformagrotekh, 2011. 296 p.

19. *Shchepochkina Yu.A.* Promising areas for processing technological waste of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 1 (409). P. 243…251.

20. *Shanyuong Zhang, Merkulova T.A.* Modifications of polyethylene terephthalate // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2017). 2017. P. 173…178.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИвГПУ. Поступила 11.03.26.

УДК 691-494
DOI 10.47367/0021-3497_2026_4_374

КОНКУРС "ЛЕГПРОМНАУКА" – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ТАЛАНТЛИВЫХ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

THE "LEGPROMNAUKA" COMPETITION AS AN EFFECTIVE TOOL FOR IDENTIFYING AND SUPPORTING TALENTED YOUNG SCIENTISTS

Е.Н. НИКИФОРОВА[1], М.Ю. ТРЕЩАЛИН[2]

E.N. NIKIFOROVA [1], M.Yu. TRESHCHALIN[2]

**([1]Ивановский государственный политехнический университет,
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)**

**([1]Ivanovo State Polytechnic University,
[2]Lomonosov Moscow State University)**

E-mail: rector@ivgpu.ru, mtreschalin@mail.ru

В статье рассматриваются актуальные вопросы подготовки научно-педагогических кадров посредством проведения Всероссийского конкурса молодых ученых и специалистов "ЛЕГПРОМНАУКА". Изложены цели и номинации конкурса. Приводятся результаты социологического опроса участников.

Авторы обосновали целесообразность и эффективность организации конкурса "ЛЕГПРОМНАУКА" для реализации государственной молодежной политики в науке и промышленности, выявления и поддержки талантливых молодых исследователей, а также содействия их профессиональному росту.

This article examines current issues related to the training of scientific and pedagogical personnel through the All-Russian Competition for Young Scientists and Specialists "LEGPROMNAUKA." The competition's objectives and nominations are outlined, and the results of a sociological survey of participants are presented.

The authors substantiated the feasibility and effectiveness of organizing the "LEGPROMNAUKA" competition for implementing state youth policy in science and industry, identifying and supporting talented young researchers, and facilitating their professional growth.

Ключевые слова: текстильная и легкая промышленность, конкурс "ЛЕГПРОМНАУКА", научно-исследовательская деятельность молодежи, молодежный промышленный туризм, Школа молодых ученых.

Keywords: textile and light industry, "LEGPROMNAUKA" competition, youth research activities, youth industrial tourism, School for Young Scientists.

Более двух десятков лет в Иванове – "текстильной столице" России – проводится Международный научно-промышленный форум "SMARTEX", ежегодно собирающий представителей практически всех отраслевых научных школ России и ближнего зарубежья. Прочно устоявшаяся дискуссионная платформа форума позволяет многие годы стремиться к единению образования, науки и производства.

Переход на новый уровень развития высокопроизводительной и социально ориентированной текстильной промышленности в ближайшее десятилетие требует особое внимание уделить подготовке молодых ученых и специалистов, активизации делового общения предприятий и профильных учебных заведений, особенно по вопросам организации всех видов практик и выполнения дипломных работ.

Наличие в стране профессионально подготовленных кадров – ключевой актив любого современного предприятия. Сохранение и упрочнение потенциала образовательных и научных организаций в тесном взаимодействии с отраслевым производственным сектором способствует повышению качества подготовки специалистов в вузах и, следовательно, успешной реализации Стратегии развития текстильной и легкой промышленности Российской Федерации на период до 2035 года.

Сегодня молодые исследователи заслуживают самого пристального внимания. От них во многом будет зависеть импортозамещение и технологический суверенитет отечественного легпрома (https://souzlegprom.ru/press-tsentr/tochka-zreniya/chlen-pravleniya-soyuzlegproma-mikhail-treshchalin-podvel-itogi-konkursa-legpromnauka/).

Сопряжение интересов и выработка совместных решений научно-образовательного комплекса и бизнес-сообщества, заинтересованных в совершенствовании кадрового и научно-технологического обеспечения текстильной промышленности страны, являются основными целями проведения СОЮЗЛЕГПРОМом на базе Ивановского государственного политехнического университета Всероссийского конкурса молодых ученых и специалистов "ЛЕГПРОМНАУКА".

Целями организации конкурса являются:

- реализация государственной молодежной политики в науке и промышленности;

- создание условий для интеграции образовательной и научно-исследовательской деятельности в высшем образовании, использования новых знаний и научных достижений в образовательной деятельности;

- выявление и поддержка талантливых молодых исследователей в самостоятельной научно-практической деятельности, содействие их профессиональному росту;

- расширение спектра практико-ориентированных научных исследований и привлечение молодых интеллектуальных кадров к решению актуальных проблем текстильной и легкой промышленности России;

- популяризация научной деятельности и привлечение внимания общества к ценности научных знаний в области текстильной химии, физики волокон, текстильного материаловедения и машиностроения.

Впервые конкурс "ЛЕГПРОМНАУКА" и Школа молодых ученых состоялись 26-28 сентября 2018 года. География российских участников достаточно широкая: Москва и Подмосковье, Санкт-Петербург, Казань, Омск, Кострома, Тула, Шахты Ростовской области и Бийск Алтайского края, Орел, Курск и, конечно, Иваново и область.

Интерес к мероприятию проявили и молодые люди из ближнего зарубежья. Среди конкурсантов были студенты и аспиранты Витебского государственного технологического университета (Республика Беларусь) и Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати (Республика Казахстан).

Таким образом, с первого года своего существования конкурс перешагнул заявленный всероссийский статус.

Тематика представленных научных работ весьма обширна: от исследований в области производства и переработки сырья и материалов до передовых технологий в проектировании и производстве оборудования, новых тканых и нетканых структур, композитов.

По условиям конкурса участникам нужно самостоятельно либо вместе с научными руководителями подготовить статьи для публикации в сборнике форума SMARTEX. В них следует четко изложить результаты своих научных изысканий, а в финале выступить с пятиминутным докладом так, чтобы убедить экспертов в актуальности и практической значимости выбранных тем. Критериями оценки научных работ молодых ученых и специалистов стали: актуальность и степень проработки идеи, направленной на решение конкретной научно-технической задачи, достижение практического результата; научная новизна (преимущества перед аналогами); практическая значимость и перспективы дальнейшего развития, в том числе патентный или коммерческий потенциал результатов исследования.

Как оценивают конкурс "ЛЕГПРОМНАУКА" победители прошлых лет? Этот вопрос был задан молодым ученым, ставшим сейчас кандидатами и докторами наук.

Андрей Михайлович Киселев, д-р техн. наук, заместитель генерального директора ООО НПО "Программируемые Композиты" (г. Кострома), стал победителем первого конкурса в номинации "Оригинальные научно-исследовательские работы": "Участие в конкурсе дает возможность не только заявить о своих разработках, но и получить публичное обсуждение проделанной научной работы, подтвердить актуальность и скорректировать направление исследований. "ЛЕГПРОМНАУКА" позволяет найти единомышленников и расширить общение с представителями научно-образовательной сферы, содействует стимулированию научной активности молодежи и укреплению связи между наукой и практикой в области решения проблем легкой промышленности и смежных отраслей экономики".

Елена Викторовна Мезенцева, канд. техн. наук, главный технолог ООО "Термопол" (г. Москва), заняла I место в номинации "Работы с высоким потенциалом коммерциализации и внедрения" в 2019 году, представив разработку методики получения молекулярного паспорта вещества для интеллектуальных волокнистых систем: "Победа в конкурсе стала мощным трамплином. Полученный опыт и признание значимости исследований позволили мне уверенно двигаться дальше. Конкурс научил меня не бояться сложных задач и смело использовать современные методы

анализа и цифровые решения. Хочу пожелать молодым ученым не останавливаться на достигнутом. Участвуя в "ЛЕГПРОМНАУКЕ", вы сможете увидеть свои сильные и слабые стороны. Победа – это старт вашей успешной научной и профессиональной карьеры".

Денис Александрович Мирошниченко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник НОЦ "Центр компетенций текстильной и легкой промышленности" Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново), одержавший победу в 2021 году в номинации "Бизнес-перспективные исследования и разработки" по тематике, связанной с обучением нейросети поиску дефектов на тканях: "С каждым годом разработки, которые участники показывают, становятся более интересными. Появляются темы, связанные с искусственным интеллектом, перспективные исследования с использованием цифровых методов. Призываю всех молодых ученых, студентов, аспирантов участвовать в этом конкурсе. "ЛЕГПРОМНАУКА" помогает, во-первых, развить навыки коммуникации и представления своих докладов, во-вторых, сопоставить свою работу с работами других и получить позитивный и полезный опыт от участия в таком мероприятии".

Спустя восемь лет спектр номинаций расширился. В конкурсе "ЛЕГПРОМНАУКА – 2025" уже рассматривались молодежные научно-исследовательские работы по трем направлениям (https://ivgpu.ru /images/events/smartex/2025/Положение%20о%20конкурсе%20Легпромнаука.PDF):

- Бизнес-перспективные исследования и разработки (в легпроме, химической промышленности, машиностроении, экологии, IT-сфере, наноинженерии, агро- и биокомплексе, строительной индустрии и др.);

- Научный креатив в фешн-дизайне (новые, нестандартные идеи или готовые проектные решения на стыке науки, фантазии и технологий в дизайне текстиля и костюма, рекламе, полиграфии, цифровой среде);

- Лучшие практики научных коммуникаций (примеры эффективной передачи научных знаний широкой общественности простым и понятным языком).

Было принято 103 заявки на участие, из них к публикации в научном журнале (РИНЦ) рекомендовано 92 статьи (более 200 соавторов), на конкурс – 63 доклада. Выступления молодых ученых проходили в виде ярких спич-сессий и бурных обсуждений докладов членами конкурсной комиссии. Впечатлений добавили маршруты молодежного промышленного туризма. В ходе поездок и экскурсий по предприятиям-партнерам (ООО ХБК "Шуйские ситцы", ООО "ТК "Русский Дом", ООО "Миртекс", ООО "Унтекс", ООО "Меркурий", рег. представительство ООО "Смарт-Т") участники познакомились с историей развития текстильного дела в Иванове и Ивановской области, внедрением на предприятиях новых, в том числе цифровых, технологий.

Что думает молодежь о науке и научно-исследовательской деятельности? Проведенный опрос показал, что большинство из 300 студентов (87 %) и аспирантов (11,4 %), подавших заявки на участие во Всероссийском конкурсе "ЛЕГПРОМНАУКА", считает профессию ученого в наивысшей степени значимой (60,8 %) (https://ivgpu.ru/images/events/smartex/2025/ЛЕГПРОМНАУКА-2025_рез-ты%20соцопроса.pdf). При этом 59 % респондентов полагает, что в нашей стране есть острая нехватка ученых (рис. 1).

Среди основных рекомендаций, выполнение которых могло бы ускорить развитие российской науки и привлечь в эту сферу молодые кадры, были названы: рост заработной платы научных работников, увеличение финансирования науки в целом, улучшение материально-технического оснащения вуза и грантовая поддержка. Как следствие, в настоящее время поступать в аспирантуру планируют только 21,1 % студентов, а заниматься в будущем научно-педагогической деятельностью – 16,3%.



Рис. 1

По мнению студентов, наукой необходимо заниматься во время обучения (51,8 % опрошенных), что позволяет получать новые знания (57,2 %) и развивать критическое мышление (48,2 %). Однако участники отмечают нехватку времени вследствие загруженности, связанной с учебным процессом или совмещением учебы и работы (рис. 2).



Рис. 2

Опрос подтверждает, что предлагаемая форма проведения и структура программных мероприятий молодежного научного конкурса "ЛЕГПРОМНАУКА" интересна и увлекательна.

Чтобы усилить эффект вовлечения молодежи в научную деятельность и отраслевую проблематику, а также дополнить процесс освоения студентами основных образовательных программ полезным содержа-

нием, необходимо продолжить практику проведения таких конкурсов, формируя академическое комьюнити студентов и экспертов, сосредоточиваясь на отраслевой проблематике и первостепенных целях, ориентируясь на потребности текстильной и легкой промышленности России.

Традиционно проведение IX конкурса "ЛЕГПРОМНАУКА" планируется на начало октября 2026 г. при финансовой поддержке Федерального агентства по делам молодежи ("Росмолодежь"), под эгидой Российского Союза предпринимателей текстильной и легкой промышленности, во взаимодействии с Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова, Российским государственным университетом имени А. Н. Косыгина и Институтом химии растворов имени Г.А. Крестова РАН. Официальным партнером выступает завод нетканых материалов "Термопол – Москва", многие годы активно поддерживающий проведение всех мероприятий МНПФ "SMARTEX".

Генеральным партнером конкурса второй год подряд является компания "Смарт-Т" (г. Москва) – крупнейший российский поставщик раскройного и печатного оборудования.

Научный форум SMARTEX зарекомендовал себя как эффективная площадка для демонстрации результатов научных исследований и производственных возможностей передовых компаний, налаживания тесных связей между представителями научного сообщества и бизнес-кругов, руководящим составом образовательных организаций и ведущих научных школ, а конкурс "ЛЕГПРОМНАУКА" дает путевку в жизнь молодым исследователям, совершающим первые шаги в науке и наукоемком бизнесе.

Рекомендована Управлением информационных ресурсов и коммуникаций. Поступила 08.06.26.

№ 4 (424) ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Обзорные статьи

Абдуллаева А.С., Тихонова Н.В., Жуковская Т.В. Современные функциональные материалы, применяемые при изготовлении краниокорректоров для детей с деформацией черепа 5

Гойс Т.О., Сташева М.А., Новосад Т.Н., Дрягина Л.В., Гусев Б.Н. Анализ состояния и направления развития стандартизации текстильных материалов и изделий 15

Голованов И.Ю., Даянова Д.Д., Лагуткин М.Г., Соколов А.С. Современные технологии в системе управления охраной труда на предприятиях текстильной промышленности 21

Алёхина А.Ф., Ерзунов К.А., Малыгина А.А., Смирнова О.П., Одинцова О.И. Применение капсулированных форм природных соединений для придания терморегулирующей способности текстильным материалам 32

Никоноров С.М., Очилов А.О., Савельев И.И., Ефрем Р.Н., Алиева Ю.Б., Баширов И.Т. Зеленое финансирование текстильной промышленности – переход к устойчивой модели развития в различных странах 43

Экономика, управление и организация производства

Керимов Ф.Д., Маммадли А.А., Бабакишиева С.Ф., Тахирзаде Дж.Ф., Керимова И.Д., Джафарова Х.Р. Цифровые маркетинговые стратегии как драйвер устойчивого регионального развития в Азербайджане 61

Магеррамова С.Э., Гаджиева Х.Г., Керимли Г.Ф., Нагиева Ф.Н., Джафарова Х.М. Развитие малых и средних предприятий в Азербайджане: экономическая среда 70

Ахмедова М.И., Керимова М.Г., Керимов Ф.Д., Джавид А.А., Гараева Ш.Н., Гараев М.Ш. Анализ маркетинговых инструментов на предприятиях легкой промышленности в контексте цифровой трансформации 87

Шерешева М.Ю., Савельев И.И., Валитова Л.А. Зарубежные модели организации текстильной отрасли и пути трансформации российской промышленной политики 96

Наугольнова И.А., Васильева И.П., Абузов А.Ю. Концептуализация и практическая апробация единого цифрового контура управления качеством продукции промышленного предприятия 109

Пятницкий Д.В. Кредитоспособность текстильных компаний: методологический аспект 121

Опарина Л.А., Строкин К.Б., Щербакова Н.А., Петрухин А.Б., Огурцов В.А., Горева А.С. Управление жизненным циклом текстильных предприятий: от технологической жесткости до девелопмента 133

Игнатова И.О. Развитие заверения нефинансовой отчетности как фактор повышения конкурентоспособности корпоративных структур 146

Игнатова И.О., Шмарова Л.В. Трансформация подходов к измерению результативности деятельности предприятий текстильной промышленности 154

Торопов К.А., Багирзаде А.Р., Столяров Н.О., Никитинс И. Использование технологий искусственного интеллекта в управлении человеческими ресурсами малых и средних предприятий легкой промышленности 163

Материаловедение

Бабаханова Х.А., Садриддинова Н.Ж., Ирматов Д.Б., Абдирахманова Д.И., Кабилова К.М. Применение методов инфракрасной спектроскопии в исследовании состава водорастворимой краски для струйной печати 180

Галкина П.К., Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю. Исследование влияния стерилизации на физико-механические и функциональные свойства упаковочных материалов для медицинских изделий 190

Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н. Сравнительный анализ способности к релаксационному восстановлению полиуретанового покрытия тканей отечественных и импортных производителей 197

Технология текстильных изделий

Романов В.Ю., Бойко С.Ю., Трифонова Л.Б., Завьялов А.А., Мартынов И.С. Оптимизация технологического процесса выработки бельевых тканей на зарубежном оборудовании 207

Химия и технология отделки и модификации

Шушунин Д.Н., Алеева С.В., Шаммут Ю.А., Цыганова Ю.С., Корнилова Н.Л. Биомягчение деталей льняной одежды: условия ферментативной модификации материалов из природно-окрашенного волокна 213

Дресвянина Е.Н., Добровольская И.П., Сапрыкина Н.Н., Юдин В.Е. Влияние спиртово-щелочной смеси на осаждение растворов хитозана и их смесей с нанофибриллами хитина 225

Швейное производство

Масалова В.А., Бутко Т.В. Особенности этапов автоматизированной градации деталей одежды методом масштабирования 236

Рахматуллин А.М. Оценка качества комплектования операций потока швейного производства по критерию сложности работ 244

Мамедова Х.Ф., Мамедов Ф.А., Хан-Хойская И.В. , Юсифов Э.Дж., Велибейли А.Р., Джафаров М.Ш. Проектирование технологических процессов изготовления одежды стабильного ассортимента методом динамического программирования 257

*Метелева О.В., Бондаренко Л.И.*Исследование клеевой технологии снижения проницаемости ниточных соединений пуховой одежды 264

Текстильные машины и агрегаты

Хосровян И.Г., Хосровян А.А., Алешин Р.Р., Хосровян Г.А. Теоретические исследования распределения скоростей воздуха в камере разрыхлителя-очистителя 273

Автоматизация и информационные технологии

Обручев Д.В., Овчинников А.А., Румянцева В.Е., Гергишан С.В., Осадчий Ю.П. Моделирование огнезащиты конструкций предприятия текстильной промышленности с учетом материалов с температурозависимыми свойствами 278

Сахарова Н.А., Смирнов Д.А., Езерская С.Г. Разработка конструктора промпт-шаблона для управляемой генерации изображений одежды в условиях промышленного производства 288

Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

Циркина О.Г., Сырбу С.А., Шварев Е.А., Салихова А.Х., Клушин А.Н. Анализ устойчивости огнезащитной обработки тканей в условиях их эксплуатации при пониженных температурах 300

Техническая эстетика и дизайн

Калькова Н.Н., Ярош О.Б., Строкина Л.А., Бабак С.Е. Исследование потребительского восприятия традиционных и сгенерированных свадебных платьев с использованием вышивки коренных народов Крыма в условиях аромастимуляции 312

Кузнецова А.Н., Морозова Е.В. Классификация современных ковров, выполненных в экологическом дизайне 329

Механика нити и полотен

Гречухин А.П., Разина А.С., Рудовский П.Н., Куликов А.В., Туманов М.А., Брезгин В.А. Ограничения сплошного представления арамидной нити при моделировании поперечного сжатия методом конечных элементов 336

Композиты на волокнистой основе

Кычкин А.К., Старцев О.В., Кычкин А.А., Габышев А.А., Лукачевская И.Г. Изменение механических характеристик гибридных стеклопластиков в условиях очень холодного климата 345

Гуляев А.И., Сбитнева С.В. Применение метода выталкивания моноволокна индентором для определения прочности адгезионной связи волокна с полимерной матрицей 354

Передовые производственные технологии

Суворов И.А., Самсонова А.И., Кузнецов В.Б. Методические аспекты замены проприетарных программных средств на открытые решения в задачах комплексного анализа текстильных композитов 361

Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

Щепочкина Ю.А. Переработка текстильных отходов потребления 369
Никифорова Е.Н., Трещалин М.Ю. Конкурс "Легпромнаука" – эффективный инструмент выявления и поддержки талантливых молодых ученых 374

CONTENTS

Review articles

Abdullaeva A.S., Tikhonova N.V., Zhukovskaya T.V. Modern Functional Materials Used in the Manufacturing of Craniocorrectors for Children with Skull Deformations 5
Gois T.O., Stasheva M.A., Novosad T.N., Dryagina L.V., Gusev B.N. Analysis of State and Direction of Textile Materials and Products Standardization Development 15
Golovanov I.Yu., Dayanova D.D., Lagutkin M.G., Sokolov A.S. Modern Technologies in Occupational Health and Safety Management System at Textile Industry Enterprises 21
Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Malygina A.A., Smirnova O.P., Odintsova O.I. The Use of Encapsulated Forms of Natural Compounds to Impart Thermoregulating Capability to Textile Materials 32
Nikonorov S.M., Ochilov A.O., Savelyev I.I., Efrem R.N., Alieva Yu.B., Bashirov I.T. Green Financing for Textile Industry – Transition to a Sustainable Development Model in Different Countries 43

Economics and Production Planning

Karimov F.J., Mammadli A.A., Babakishiyeva S.F., Tahirzade C.F., Karimova I.J., Jafarova Kh.R. Digital Marketing Strategies as Driver of Sustainable Regional Development in Azerbaijan 61
Maharramova S.E., Hajiyeva H.H., Kerimli G.F., Nagiyeva F.N., Jafarova H.M. Development of Small and Medium Enterprises in Azerbaijan: Economic Environment 70
Ahmadova M.I., Karimova M.H., Karimov F.J., Javid A.A., Qarayeva S.N., Qarayev M.S. Analysis of Marketing Tools in Light Industry Enterprises in the Context of Digital Transformation 87
Sheresheva M.Y., Savelev I.I., Valitova L.A. Foreign Models of Organizing Textile Industry and Ways to Transform Russian Industrial Policy 96
Naugolnova I.A., Vasilyeva I.P., Abuzov A.Yu. Conceptualization and Practical Testing of Unified Digital Quality Management System for Industrial Enterprise 109
Pyatnitskiy D.V. Credit Worthiness of Textile Companies: a Methodological Aspect 121
Oparina L.A., Strokin K.B., Shcherbakova N.A., Petrukhin A.B., Ogurtsov V.A., Goreva A.S. Textile Enterprises Lifecycle Management: from Technological Rigidity to Development 133
Ignatova I.O. Development of Non-Financial Reporting Assurance as a Factor in Enhancing the Competitiveness of Corporate Structures 146
Ignatova I.O., Shmarova L.V. Transformation of Approaches to Measuring the Performance of Textile Industry Enterprises 154
Toropov K.A., Baghirzade A.R., Stolyarov N.O., Nikitins I. The Use of Artificial Intelligence Technologies in Human Resource Management of Small and Medium-Scale Light Industry Enterprises 163

Materials

Babakhanova Kh.A., Sadriddinova N.Zh., Irmatov D.B., Abdirakhmanova D.I., Kabilova K.M. Application of Infrared Spectroscopy Methods in the Study of Water-Soluble Ink Composition for Inkjet Printing 180
Galkina P.K., Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu. Study of Sterilization Influence on the Physical-Mechanical and Functional Properties of Packaging Materials for Medical Devices 190
Marushchak Yu.I., Yasinskaya N.N. Comparative Analysis of Relaxation Restoration Capacity of Polyurethane Fabric Coatings of Domestic and Imported Manufacturers 197

Technology of Textile Products

Romanov V.Yu., Boyko S.Yu., Trifonova L.B., Zavyalov A.A., Martynov I.S. Optimization of the Technological Process for Manufacturing Fabric for Bed Linen Using Foreign Equipment 207

Chemistry and Technology of Finishing and Modification

Shushunin D.N., Aleeva S.V., Shammut Yu.A., Tsyganova Yu.S., Kornilova N.L. Bio-Softening of Linen Clothing Parts: Conditions for Enzymatic Modification of Naturally Colored Fiber Materials 213
Dresvyanina E.N., Dobrovolskaya I.P., Saprikina N.N., Yudin V.E. Effect of Alcohol-Alkaline Mixture on Precipitation of Chitosan Solutions and their Mixtures with Chitin Nanofibrills 225

Sewing

Masalova V.A., Butko T.V. Features of the Stages of Automated Grading of Clothing Parts Using Scaling Method 236
Rakhmatullin A.M. Assessing the Quality of Production Flow Operations in a Garment Production Flow Based on Work Complexity 244
Mamedova Kh., Mamedov F., Khan-Khoyskaya I., Yusifov E.J., Velibeyli A.R., Jafarov M.Sh. Design of Technological Processes for Producing Stable Assortments of Clothing with the Method of Dynamic Programming ... 257
Meteleba O.V., Bondarenko L.I. Study of Adhesive Technology to Reduce Permeability of Thread Joints in Down-Filled Clothing 264

Textile Machines and Aggregates

Khosrovyan I.G., Khosrovyan A.A., Alyoshin R.R., Khosrovyan G.A. Theoretical Research of Air Velocity Distribution in the Loosener-Cleaner Chamber 273

Automation and Information Technologies

Obruchev D.V., Ovchinnikov A.A., Rumyantseva V.E., Gergishan S.V., Osadchy Yu.P. Modeling of Fire Protection of Textile Industry Enterprise Structures Taking into Account Materials with Temperature-Dependent Properties 278
Sakharova N.A., Smirnov D.A., Ezerskaya S.G. Development of a Prompt Template Constructor for Controlled Clothing Image Generation In Industrial Production 288

Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering

Tsirkina O.G., Syrbu S.A., Shvarev E.A., Salikhova A.Kh., Klushin A.N. Analysis of Stability of Flame-Retardant Fabric Treatment under Low Temperature Service Conditions 300

Technical Aesthetics and Design

Kalkova N.N., Yarosh O.B., Strokina L.A., Babak S.E. A Study of Consumer Perception of Traditional and Generated Wedding Dresses Using Crimean Indigenous Embroidery under the Conditions of Aromastimulation 312
Kuznetsova A.N., Morozova E.V. Classification of Modern Carpets Made in the Style of Ecological Design 329

Mechanics of Threads and Fabrics

Grechukhin A.P., Razina A.S., Rudovsky P.N., Kulikov A.V., Tumanov M.A., Brezgin V.A. Limitations of Simplified Thread Representation of Aramid Yarn in Finite Element Modeling of Transverse Compression 336

Fiber-based Composites

Kyckin A.K., Startsev O.V., Kyckin A.A., Gabyshev A.A., Lukachevskaya I.G. Changes in the Mechanical Properties of Hybrid Fiberglass Composites in Extremely Cold Climates 345
Gulyaev A.I., Sbitneva S.V. Application of Monofilament Push-Out Method Using Indenter to Determine Adhesion Strength Between Fiber and Polymer Matrix 354

Advanced Manufacturing Technologies

Suvorov I.A., Samsonova A.I., Kuznetsov V.B. Methodological Aspects of Replacing Proprietary Software with Open-Source Solutions in the Tasks of Comprehensive Analysis of Textile Composites 361

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

Shchepochkina Yu.A. Recycling of Textile Waste 369
Nikiforova E.N., Treshchalin M.Yu. The "Legpromnauka" Competition as an Effective Tool for Identifying and Supporting Talented Young Scientists 374