



ISSN 2587-6147

16+



ТЕХНОЛОГИИ И КАЧЕСТВО

4(66)
2024



ТЕХНОЛОГИИ И КАЧЕСТВО

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
(до 2016 года «Вестник
Костромского государственного
технологического университета»)

Издается с 1999 года

2024

№ 4(66)

ДЕКАБРЬ

TECHNOLOGIES & QUALITY

SCHOLARLY JOURNAL
(up to 2016 “Bulletin
of the Kostroma State
Technological University”)

Appears since 1999

2024

№ 4(66)

DECEMBER

Реферируемое издание ВИНТИ Российской академии наук

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2011 года

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий (Перечень ВАК),

в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени кандидата наук,

на соискание ученой степени доктора наук

по следующим отраслям:

2.6.16. Технология производства изделий текстильной

и легкой промышленности (технические науки),

5.10.3. Виды искусства. Техническая эстетика и дизайн (искусствоведение)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**Главный редактор**

СВЕТЛАНА ГЕННАДЬЕВНА СМИРНОВА
кандидат технических наук, доцент,
Костромской государственной университет

Ответственный секретарь

ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ РУДОВСКИЙ
доктор технических наук, профессор,
Костромской государственной университет

СЕРГЕЙ ИЛЬИЧ ГАЛАНИН

доктор технических наук, профессор,
Костромской государственной университет

АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ ГРЕЧУХИН

доктор технических наук, доцент,
Костромской государственной университет

ЛЮДМИЛА ЮРЬЕВНА КИПРИНА

кандидат технических наук, доцент,
Костромской государственной университет

МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ КИСЕЛЕВ

доктор технических наук, доцент,
Костромской государственной университет

ЖАННА ЮРЬЕВНА КОЙТОВА

доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургская государственная
художественно-промышленная академия
им. А. Л. Штиглица

МИХАИЛ ОЛЕГОВИЧ КОЛБАНЕВ

доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный
экономический университет

АНДРЕЙ РОСТИСЛАВОВИЧ КОРАБЕЛЬНИКОВ

доктор технических наук, профессор,
Костромской государственной университет

АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ МАТРОХИН

доктор технических наук, профессор,
Ивановский государственный политехнический университет

СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ПАЛОЧКИН

доктор технических наук, профессор, Московский
государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

ГАЛИНА ГЕОРГИЕВНА СОКОВА

доктор технических наук, профессор,
Костромской государственной университет

БОРИС АЛЕКСАНДРОВИЧ СТАРОВЕРОВ

доктор технических наук, профессор,
Костромской государственной университет

ЕВГЕНИЙ ЯКОВЛЕВИЧ СУРЖЕНКО

доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна

ВЕЙЛИН СЮ

профессор, Уханьский текстильный университет (КНР)

ЮРИЙ СТЕПАНОВИЧ ШУСТОВ

доктор технических наук, профессор, Российский
государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

САЛОХИДДИН ЗУНУНОВИЧ ЮНУСОВ

доктор технических наук, профессор,
Ташкентский государственный транспортный университет

EDITORIAL BOARD STAFF:**Editor-in-chief**

SVETLANA GENNADIEVNA SMIRNOVA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kostroma State University

Executive Secretary

PAVEL NIKOLAEVICH RUDOVSKY
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kostroma State University

SERGEY ILICH GALANIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kostroma State University

ALEXANDER PAVLOVICH GRECHUKHIN

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Kostroma State University

LYUDMILA YURYEVNA KIPRINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kostroma State University

MIKHAIL VLADIMIROVICH KISELEV

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Kostroma State University

ZHANNA YURYEVNA KOYTOVA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Saint Petersburg State
Academy of Art and Design
named after A. L. Stieglitz

MIKHAIL OLEGOVICH KOLBANEV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Saint Petersburg State
University of Economics

ANDREY ROSTISLAVOVICH KORABELNIKOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kostroma State University

ALEKSEY YURYEVICH MATROHIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ivanovo State Polytechnic University

SERGEY VLADIMIROVICH PALOCHKIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Bauman Moscow State Technical University

GALINA GEORGIYEVNA SOKOVA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kostroma State University

BORIS ALEKSANDROVICH STAROVEROV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kostroma State University

EVGENIY YAKOVLEVICH SURZHENKO

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Saint-Petersburg State University
of Industrial Technologies and Design

WEILIN XU

Professor, Wuhan Textile University (China)

YURIY STEPANOVICH SHUSTOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kosygin Russian State University
(Technologies. Design. Art)

SALOHIDDIN ZUNUNOVICH YUNUSOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tashkent State Transport University

СОДЕРЖАНИЕ

Чайковский Д. В.
Без инженеров нет будущего...5

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Халилова А. А., Тихонова Н. В.,
Сайфутдинова И. Ф.**
Исследование стойкости к открытому пламени
натуральных текстильных материалов
с водоотталкивающей пропиткой7

**Панин М. И., Гареев А. Р., Слюсарев А. А.,
Кулаков О. И., Соболева Т. А.**
Исследование структур каркасных тканей
и иглопробивных полотен, выполненных
в виде заготовок для производства
углерод-углеродных тормозных дисков14

Абрамов А. В., Кургузов В. В., Родичева М. В.
Численная модель процессов
пылепроницаемости текстильных материалов
шахтерского костюма21

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Щепочкин А. М., Щепочкина Ю. А.
Возможности снижения выделений пыли
на текстильных предприятиях28

**Азанова А. А., Мустафина Р. Р.,
Гаврилюк Е. Ю.**
Композиционный материал на основе
отходов прорезиненных тканей37

**Сысоев В. А., Назмутдинов Р. Р.,
Гарифуллина А. Р., Зинкичева Т. Т.,
Калукова М. Н.**
Термодинамические аспекты
процессов аминлиза
несимметричных алкиленкарбонатов42

**Магнитский И. В., Магнитская М. В.,
Цветков Д. А., Любченко М. А.
Палочкин С. В.**
Модель внутренних напряжений
в заготовках углерод-углеродных
композиционных материалов
на основе иглопробивных каркасов,
изготовленных методом намотки ткани47

CONTENTS

Chaykovskiy D. V.
No future without engineers...5

MATERIAL SCIENCE IN THE FIELD OF TEXTILE WORKS AND LIGHT INDUSTRY

**Khalilova A. A., Tikhonova N. V.,
Sayfutdinova I. F.**
Study of fire resistance
of natural textile materials with water-repellent
impregnation water-repellent impregnation7

**Panin M. I., Gareev A. R., Slyusarev A. A.,
Kulakov O. I., Soboleva T. A.**
Structures of reinforcing fabrics
and needle-punched cloth made as preforms
for the carbon-carbon brake
discs manufacturing.....14

Abramov A. V., Kurguzov V. V., Rodicheva M. V.
Numerical model
of dust permeability processes
of textile materials of miner's suit21

TECHNOLOGY OF TEXTILE PRODUCTS AND LIGHT INDUSTRY

Shchepochkin A. M., Shchepochkina Ju. A.
Possibilities for reducing dust emissions
at textile enterprises28

**Azanova A. A., Mustafina R. R.,
Gavrilyuk E. Yu.**
Composite material based on waste
rubber-proofed fabrics37

**Sysoev V. A., Nazmutdinov R. R.,
Garifullina A. R., Zinkicheva T. T.,
Kalukova M. N.**
Thermodynamic aspects
of aminolysis processes
of unsymmetric alkylene carbonates42

**Magnitsky I. V., Magnitskaya M. V.,
Tsvetkov D. A., Lyubchenko M. A.,
Palochkin S. V.**
Model of internal stress
in blanks of carbon-carbon
composite materials
based on needle-punched frameworks
manufactured by the fabric winding method47

ДИЗАЙН**Рыбакова И. В., Галанин С. И.**

Эклектика

в современных ювелирных украшениях
с горячей эмалью55**Жирова Т. И., Галанин С. И.**Использование галлия в качестве модельного
материала в гальванопластике60**Денисова О. И., Денисов А. Р.**

Актуальность роли

современной корпоративной униформы
в продвижении месседжа компании65**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ****Лобов И. В., Красавина М. С.**Система визуализации результатов
спортивных тренировок71**ТРЕБОВАНИЯ****К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ76****DESIGN****Rybakova I. V., Galanin S. I.**

Eclecticism

in modern jewellery
with hot enamel55**Zhirova T. I., Galanin S. I.**Use of gallium as model material
in galvanoplasty60**Denisova O. I., Denisov A. R.**

The relevance of the role

of modern corporate uniform
in promoting the company's message65**INFORMATION TECHNOLOGY****Lobov I. V., Krasavina M. S.**A system for visualizing the results
of sports training71**REQUIREMENTS****TO REGISTRATION OF ARTICLE76**

Без инженеров нет будущего...

В 2024 году журнал «Технологии и качество» отмечает свое двадцатипятилетие. Как известно, научные журналы решают довольно широкий спектр задач в университете. Они являются площадкой для публикаций, тематически ориентированных на ключевые исследовательские компетенции университетских авторов; способствуют распространению научного знания, демонстрируя достижения преподавателей; обеспечивают возможность продвижения актуальных фундаментальных и прикладных исследований, методических разработок. Научное издание с хорошей репутацией формирует положительный имидж учебного заведения не только в регионе, но и за его пределами. Кроме того, по качеству научных журналов судят об уровне развития науки в университете.

История журнала «Технологии и качество» началась в 1999 г. Именно тогда по инициативе проректора по научной работе КГТУ Корабельникова Ростислава Васильевича был создан научный журнал «Вестник Костромского государственного технологического университета». Изначально к публикации представлялись статьи инженерно-технического направления. Однако когда отраслевой вуз стал многопрофильным региональным университетом, спектр научных направлений и тем значительно расширился. «Вестник Костромского государственного технологического университета» стал мультидисциплинарным изданием и с 2008 г. выходил в виде трех специализированных номеров по техническим, экономическим и гуманитарным наукам. Логическим завершением этого процесса явилась регистрация в 2011 году отдельных журналов гуманитарной, экономической и юридической направленности. А «Вестник Костромского государственного технологического университета» окончательно сложился как журнал, освещающий проблемы технических наук по тематике исследований, проводимых в вузе, как это и задумывалось при его создании (в 2011 г. он вошел в Российский индекс научного цитирования). За годы издания журнала в нем опубликовано 1621 статья. В числе их авторов – специалисты не только КГТУ, но и многих других вузов из России и ближнего зарубежья.

После объединения КГТУ и КГУ им. Н. А. Некрасова в опорный вуз был обновлен и журнал: изменился состав редакционной кол-

легии; расширилась география авторов; научное издание получило название «Технологии и качество». К настоящему времени журнал заслужил высокую академическую репутацию: он входит в категорию K2; по данным РИНЦ занимает 3 место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2023 год по тематике «Легкая промышленность»; двухлетний импакт-фактор составляет 1,244.

Таким образом, Костромской государственной университет располагает авторитетным периодическим изданием, способствующим продвижению научных результатов в инженерно-технической области.

Сегодня в нашем вузе подготовке современных инженерных кадров уделяется особое внимание, и не случайно. В новых политических и социально-экономических условиях инженерная подготовка должна быть сфокусирована на решении задач по укреплению технологического суверенитета страны (как известно, именно эта национальная цель заявлена Президентом Российской Федерации как одна из главных на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года).

Перед профессорско-преподавательским составом нашего вуза стоит задача вывести инженерно-техническую школу на новый уровень. Для этого необходимо по-новому взглянуть на основные направления работы: скорректировать принципы организации как образовательных программ, так и научных изысканий; обновить кадровую политику (прежде всего, в части развития преподавательского состава и поддержки молодых кадров); реализовать инфраструктурные мероприятия.

Важно отметить, что первые шаги на этом пути уже сделаны. В настоящее время КГУ совместно с Московским государственным техническим университетом имени Н. Э. Баумана разрабатывает концепцию нового инженерного образования.

Прежде всего, планируется существенное изменение образовательного процесса. Наряду с углубленной фундаментальной подготовкой в учебных планах должна быть предусмотрена углубленная практическая подготовка с первого курса (за счет создания отраслевых производственных ячеек, соответствующих реальному процессу создания промышленной продукции: ювелирное производство, машиностроение, деревообработка). Кроме того, университет даст

студентам возможность получения рабочих профессий (оператор станков с ЧПУ, контролер ОТК, сварщик, литейщик, слесарь КИП, ювелир, столяр, токарь, фрезеровщик, кузнец).

Эффективности программ будет способствовать сетевая форма их реализации с привлечением потенциала ведущих университетов (МГТУ им Н. Э. Баумана, МИСИС, МАИ, ТПУ, МИФИ). Отличительными особенностями программ станет выраженный мульти- и междисциплинарный подход, возможность их постоянного обновления и перенастройки.

И конечно, важную роль в подготовке современного инженера играет ИТ-подготовка. Сегодня, когда в различные сферы жизни и производства широко внедряются современные цифровые технологии, искусственный интеллект, робототехника, компьютерные технологии разного уровня и направленности, выпускники инженерно-технических направлений должны обладать не только необходимыми фундаментальными знаниями и компетенциями для работы в отрасли, но и уметь применять современные ИТ-технологии для достижения максимальной эффективности; кроме того, соответствующая ИТ-подготовка должна обеспечивать современному инженеру возможность быстро адаптироваться к меняющимся условиям в цифровой экономике.

Одна из важнейших задач – модернизация инфраструктурной инженерно-технической базы: современные научно-образовательные задачи невозможно решать в условиях недостаточ-

ных с точки зрения технического оснащения. Создание новых лабораторий (цифрового проектирования и моделирования, БПЛА, машиностроения, материаловедения и т. д.), центров коллективного пользования, отраслевых производственных ячеек, исследовательских центров – необходимое условие эффективного развития инженерного образования в КГУ.

Трансформация инженерно-технического образования невозможна также без системно выстроенной кадровой политики. Во-первых, требуется регулярное повышение квалификации преподавателей в ведущих вузах (в том числе в форме стажировки): это обязательное условие для обновления научно-предметных знаний и выявления тенденций их изменения. Во-вторых, на приоритетные инженерные направления необходимо привлекать ведущих ученых. Новые научные коллективы при этом должны быть вовлечены в разработку и обновление научно-образовательного процесса.

Таким образом, инженерное образование в Костромском государственном университете должно стать более современным и конкурентоспособным, гибко реагирующим на запросы времени и текущей ситуации. Именно для этого вырабатываются новые комплексные решения и подходы. И наличие собственного периодического издания с хорошей академической репутацией, безусловно, является хорошей имиджевой поддержкой современного, отвечающего требованиям времени инженерного образования.

*Д. В. Чайковский,
ректор КГУ*

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

УДК 677.047

EDN NDLZEN

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-7-13>

Алина Адиковна Халилова¹

Наталья Васильевна Тихонова²

Ильмира Фаритовна Сайфутдинова³

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

³ Казанский химический научно-исследовательский институт, г. Казань, Россия

¹ nata.tikhonova.81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>

² adikovna777@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3189-5559>

³ isayfutdinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9954-4125>

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К ОТКРЫТОМУ ПЛАМЕНИ НАТУРАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВОДООТТАЛКИВАЮЩЕЙ ПРОПИТКОЙ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о влиянии водоотталкивающих аппретов текстильных материалов на их огнестойкость. Представлены результаты исследования стойкости к открытому пламени натуральных текстильных материалов, обработанных раствором силана с хлорпарафином, и образцов-аналогов с водоотталкивающей пропиткой. Анализ полученных данных показал, что после обработки стойкость к открытому пламени образцов саржи увеличилась в 2 раза по сравнению с контрольным образцом и в 1,6 – по сравнению с образцами-аналогами. Стойкость к открытому пламени брезента возросла в 2,2 раза, как по сравнению с контрольным образцом, так и по сравнению с образцами-аналогами. Результаты исследования указывают на необходимость учета параметров огнестойкости материалов при разработке рабочей одежды из материалов натурального происхождения.

Ключевые слова: брезент, саржа, текстильные материалы, силан, хлорпарафин, водоотталкивающая пропитка, огнестойкость, спецодежда

Для цитирования. Халилова А. А., Тихонова Н. В., Сайфутдинова И. Ф. Исследование стойкости к открытому пламени натуральных текстильных материалов с водоотталкивающей пропиткой // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 7–13. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-7-13>.

Original article

Alina A. Khalilova¹

Natalia V. Tikhonova²

Ilmira F. Sayfutdinova³

^{1,2} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

³ Kazan Chemical Research Institute, Kazan, Russia

STUDY OF FIRE RESISTANCE OF NATURAL TEXTILE MATERIALS WITH WATER-REPELLENT IMPREGNATION WATER-REPELLENT IMPREGNATION

Abstract. The article deals with the issue of the influence of water-repellent appretizers of textile materials on their fire resistance. The results of the study of fire resistance of natural textile materials treated with a solution of silane with chlorparaffin and samples of analogs with water-repellent impregnation are pre-

sented. The analysis of the obtained data showed that after treatment the fire resistance of twill samples increased 2 times in comparison with the control sample and 1.6 times in comparison with the samples-analogues. The fire resistance of tarpaulin increased by 2.2 times both in comparison with the control sample and with the analog samples.

Keywords: tarpaulin, twill, textile materials, silane, chloroparaffin, water-repellent impregnation, fire resistance, overalls

For citation: Khalilova A. A., Tikhonova N. V., Sayfutdinova I. F. Study of fire resistance of natural textile materials with water-repellent impregnation water-repellent impregnation. Technologies & Quality. 2024. No 4(66). P. 7–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-7-13>.

В настоящее время в текстильной промышленности Российской Федерации наблюдается тенденция к увеличению использования химических аппретов в качестве придания материалам специальных свойств с целью разработки высококачественной рабочей одежды.

Для разработки рабочей одежды используют материалы различного волокнистого состава, однако на сегодняшний день представлен многочисленный ряд рабочей одежды из 100 % хлопка. Это связано с тем, что хлопчатобумажные ткани в силу строения хлопковых волокон обладают преимуществами в следующих показателях: хорошо впитывают влагу и обладают высокой воздухопроницаемостью, мягкие и удобные в носке; имеют достаточную теплоизоляцию [1]. Однако использование данного вида материала, с учетом его высоких достоинств, недостаточно для проектирования рабочей одежды, так как в настоящее время одним из основных требований к текстильным материалам является защита от неблагоприятных воздействий погодных условий и общих производственных загрязнений. Для достижения данной цели текстильные материалы подвергаются обработке гидрофобными аппретами [2–6]. Существующие гидрофобные аппреты, применяемые на стадии заключительной отделки, могут как положительно, так и отрицательно влиять на некоторые характеристики материалов [7]. Так, гидрофобизация может приводить к понижению огнестойкости, ведь обработанный текстильный материал содержит в себе большое количество отделочных химических веществ, которые могут быть горючими [8]. Таким образом, возникает интерес определения показателя огнестойкости материалов, обработанных водоотталкивающей пропиткой.

На первом этапе исследований нами получена водоотталкивающая пропитка с применением следующих реагентов: дистиллированная вода комнатной температуры (92,50 мл), силан марки А-1100 (5,00 мл) и хлорпарафин (ХП) марки ХП-470 (2,50 мл). В качестве кон-

трольных образцов отобраны текстильные материалы с натуральным волокнистым составом, чаще всего используемом для проектирования рабочей защитной одежды от общих производственных факторов: саржа (100 % – хлопок), брезент (60 % – лен, 40 % – хлопок).

Огнестойкость образцов текстильных материалов [9] оценивали по ГОСТ Р 12.4.200–99.

В качестве объектов исследований отобраны опытные образцы материалов, обработанные раствором силана с ХП, а также образцы-аналоги с водоотталкивающей (ВО) пропиткой, которые по переплетению и волокнистому составу соответствуют опытным образцам. Основные характеристики исследуемых материалов, изменение гидрофобных и прочностных характеристик образцов после обработки водоотталкивающей пропиткой на основе силана и ХП представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 можно сделать вывод о том, что обработка текстильных материалов пропиткой из силана и ХП не ухудшает прочностные характеристики.

Для проведения испытания на подготовленные образцы с помощью шаблона нанесены метки, обозначающие расположение штифтов держателя. Испытываемые образцы устанавливали на штифты держателя таким образом, чтобы штифты проходили через точки, отмеченные с помощью шаблона, а проба находилась на расстоянии (20 ± 1) мм от прямоугольной металлической рамы держателя. Затем держатель с пробой закрепляли на установочной раме. Горелку устанавливали перпендикулярно к поверхности испытываемых образцов таким образом, чтобы ось горелки располагалась на 20 мм выше линии нижних штифтов и была направлена к вертикальной центральной линии лицевой стороны испытываемой пробы. Кончик горелки должен находиться на расстоянии (17 ± 1) мм от поверхности пробы. На рисунке 1 представлена схема расположения горелки.

Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики натуральных текстильных материалов

Наименование материала, производитель	Вид отделки	Поверхностная плотность, г/м ²	Волокнистый состав, %	Краевой угол смачивания, град	Прочность на разрыв, Н	
					основа	уток
Контрольные образцы						
1. Саржа, «Балтийский текстиль», РФ	-	240	Хлопок – 100	73	791,38	271,62
2. Брезент, «ТканиТЕКС», РФ	-	340	Лен – 60, хлопок – 40	82	734,46	699,90
Опытные образцы						
1. Саржа после обработки раствором силана и ХП	ВО (Силан + ХП)	288	Хлопок – 100	116	791,67	271,34
2. Брезент после обработки раствором силана и ХП	ВО (Силан + ХП)	476	Лен – 60, хлопок – 40	117	735,64	696,64
Образцы-аналоги						
1. Саржа Премьер Cotton 250, «Чайковский текстиль», РФ	МВО	260	Хлопок – 100	103	787,32	598,21
2. Саржа-240, «Балтийский текстиль», РФ	ВО	240	Хлопок – 100	98	783,91	268,42
3. Саржа Канвас, Китай	ВО	270	Хлопок – 100	96	807,64	458,39
4. Брезент, «Балтийский текстиль», РФ	ВО	340	Лен – 60, хлопок – 40	98	936,27	570,24

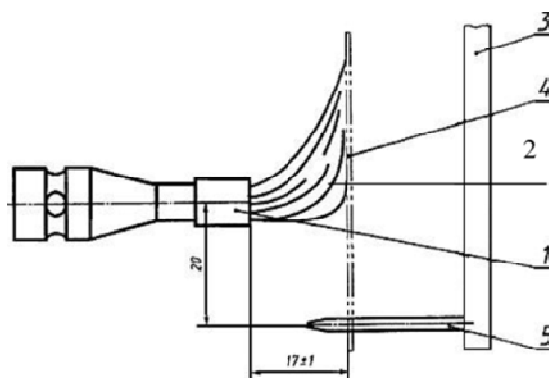


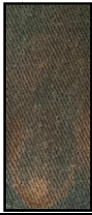

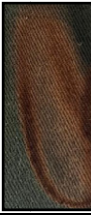
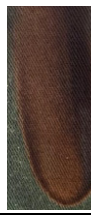




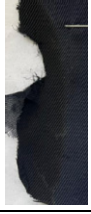




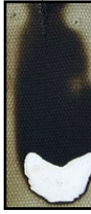




Рис. 1. Схема расположения горелки при регулировании пламени
1 – горелка; 2 – пламя; 3 – рама держателя; 4 – элементарная проба; 5 – штифт

Т а б л и ц а 2

Стойкость исследуемых образцов к воздействию открытого пламени

Наименование образца	Время воздействия пламени, с				Остаточное горение	Стойкость к воздействию открытого пламени, с
Контрольные образцы						
Саржа, «Балтийский текстиль»	2	3	4	5	Нет	4
					Нет	
					Есть	
					Есть	
Брезент, «ТканиТЕКС»	3	4	5	6	Нет	5
					Нет	
					Есть	
					Есть	

Окончание табл. 2

Наименование образца	Время воздействия пламени, с	Остаточное горение	Стойкость к воздействию открытого пламени, с				
<i>Опытные образцы</i>							
Саржа после обработки раствором силана и ХП	5 	6 	7 	8 	Нет	8	
					Нет		
					Нет		
					Нет		
Брезент после обработки раствором силана и ХП	8 	9 	10 	11 	Нет	11	
					Нет		
					Нет		
					Нет		
<i>Образцы-Аналоги</i>							
Саржа Премьер Cotton 250, «Чайковский текстиль»	4 	5 			Есть	4	
					-		
Саржа-240, «Балтийский текстиль»	4 	5 			Нет	5	
					-		
Саржа Канвас, Китай	3 	4 	5 	6 	Нет	5	
					Нет		
					Есть		
					-		
Брезент, «Балтийский текстиль»	3 	4 	5 			Нет	5
					Нет		
					-		

Полученный результат образцов-аналогов, представленный в табл. 2, показал, что пропитка, нанесенная на исследуемые материалы, не ухудшает огнестойкость. Она равна или выше по сравнению с контрольными образцами без пропитки.

Остаточное горение наблюдается у образцов Саржа, Брезент, Премьер Cotton 250, Саржа-240, Канвас при воздействии открытого пламени в течение 4...5 с. В случае опытных образцов, обработанных раствором силана с ХП, наблюдается повышение огнестойкости. Для визу-

ального восприятия полученных результатов представлены графики (рис. 2, 3).

Из рисунка 2 можно сделать вывод о том, что огнестойкость опытных образцов выше по сравнению с контрольными образцами в 2 раза, с образцами-аналогами в 1,6 раз.

Полученные результаты исследований образцов брезента (см. рис. 3) аналогичны результатам по материалам из 100% хлопка (см. рис. 2). Так, обработка раствором силана с ХП образцов брезента повышает огнестойкость исследуемых образцов по сравнению с контрольными и образцами-аналогами в 2,2 раза.

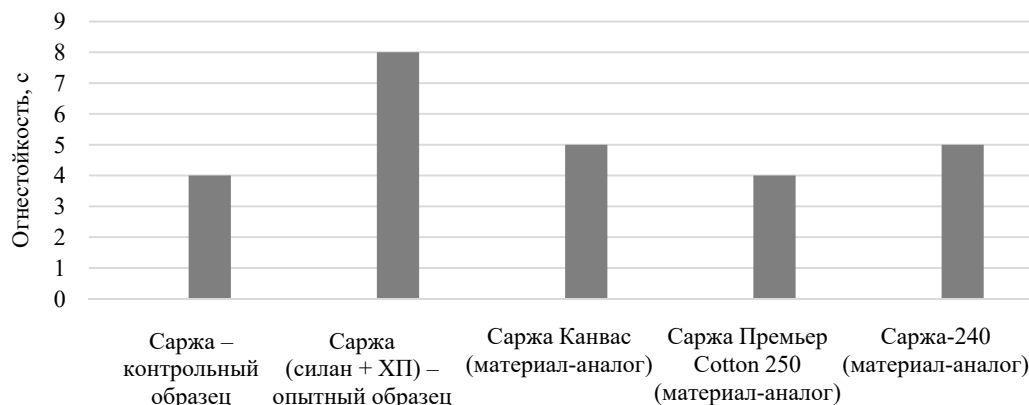


Рис. 2. Огнестойкость текстильных материалов из хлопка

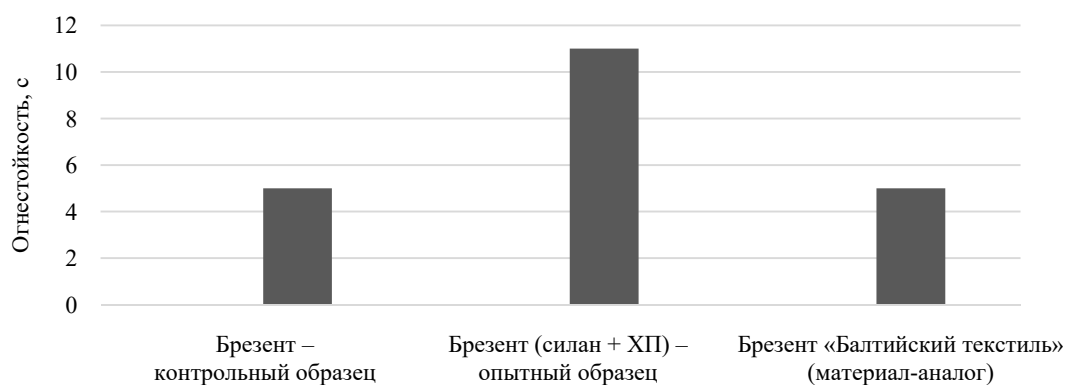


Рис. 3. Огнестойкость текстильных материалов из брезента

Анализ экспериментальных данных показывает, что водоотталкивающая пропитка на основе раствора силана с ХП не только придает гидрофобные свойства материалам, но и повышает огнестойкость. Гидрофобизация текстильных материалов достигается за счет формирования покрытия из веществ с наиболее низкой поверхностной энергией [10]. Повышение огнестойкости образцов материалов объясняется наличием в водоотталкивающей пропитке хлорпарафина, который применяется не только для придания гидрофобности, но и в качестве антипирена для текстильных материалов и полимерных композиций [11, 12]. Механизм действия хлорпарафина изучен подробно и заключается в разбавлении горючих газов горения за счет выделяющихся инертных газообразных продуктов [13]. Силан же, в свою очередь, находящийся в растворе с хлорпарафином, не ухудшает его действие как антипирена.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что применение раствора силана с хлорпарафином в качестве пропитки для текстильных материалов не только придает им водоотталкивающие свойства, но и позволяет повысить огнестойкость. Это открывает новые перспективы для использования таких материалов в различных отраслях промышленности, где требуется сочетание гидрофобных и огнестойких свойств.

Таким образом, результаты исследования указывают на необходимость учета параметров огнестойкости материалов при разработке рабочей одежды из материалов натурального происхождения, поскольку эти характеристики определяют пригодность материала для различных типов изделий.

Достигнутые эффекты в дальнейшем будут исследоваться на предмет возможных хи-

мических превращений при взаимодействия данных компонентов пропитки следующими методами: ИК-спектроскопия, дифференциаль-

ная сканирующая калориметрия (ДСК), конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (КЛСМ).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нуркулов Ф. Н., Раупов А. Р., Джалилов А. Т. Повышение огнестойкости текстильных тканей на основе целлюлозы // *Universum: технические науки : электрон. науч. журн.* 2021. № 7(88). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12111> (дата обращения: 2.09.2024).
2. Халилова А. А., Тихонова Н. В. К вопросу о применении раствора силана в качестве заключительной отделки в производстве текстильных материалов // *Костюмология.* 2022. Т. 7, № 1. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/31TLKL122.pdf> (дата обращения: 2.09.2024).
3. Набиев Н. Д., Миратаев А. А., Усманова Ф. С. Изучение процесса гидрофобизации хлопчатобумажных текстильных материалов новыми аппретами // *Universum: технические науки : электрон. науч. журн.* 2022. № 4(97). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13400> (дата обращения: 2.09.2024).
4. Морозов А. В. Современные технологические ресурсы формирования гидрофобных свойств текстильных материалов // *Международный студенческий научный вестник.* 2018. № 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19202> (дата обращения: 2.09.2024).
5. Баданова А. К. Модификация поверхности целлюлозного волокна для придания гидрофобных свойств // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX).* 2014. № 1. С. 109–113.
6. Рябчиков Е. А. Разработка и исследование функциональной композиции для придания гидрофобных и олеофобных свойств текстильным материалам из синтетических волокон // *Сборник научных статей 5-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых.* Т. 4. Курск, 2020. С. 453–458.
7. Makhotkina L., Khalilova A. Hydrophobic textile materials with organosilicon impregnation // *E3S Web of Conferences.* Moscow, 2020. P. 03025.
8. Придание огнестойкости текстильным материалам различного назначения / Е. Л. Владимирцева, С. В. Смирнова, О. И. Одинцова, М. В. Винокуров // *Российский химический журнал.* 2014. Т. 58, № 2. С. 49–58.
9. Сабирзянова Р. Н., Красина И. В. Оборудование и методики испытаний текстильных материалов на огнестойкость // *Вестник Казанского технологического университета.* 2014. Т. 17, № 19. С. 120–123.
10. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-механические основы смачивания и растекания. М. : Химия, 1976. 232 с.
11. Основные способы и механизмы повышения огнетеплозащитной стойкости материалов / В. Ф. Каблов, О. М. Новопольцева, В. Г. Кочетков, А. Г. Лапина // *Известия ВолгГТУ.* 2016. № 4(183). С. 46–60.
12. Пат. № 2636500 С1 Российская Федерация, МПК В32В 25/02, С08L 9/06, С08L 27/06. Многослойный защитный полимерно-текстильный материал на основе бутадиен-стирольного термоэластопласта: № 2016131809 : заявл. 02.08.2016 : опубл. 23.11.2017 / О. В. Барнягина, Д. П. Юматова, Л. Э. Зарипова [и др.] ; заявитель АО «Казанский химический научно-исследовательский институт».
13. Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // *Соросовский образовательный журнал.* 1996. № 9. С. 57–63.

REFERENCES

1. Nurkulov F. N., Raupov A. R., Jalilov A. T. Increasing the fire resistance of cellulose-based textile fabrics. *Universum: tekhnicheskie nauki* [Universum: Technical Sciences]. 2021;7(88). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12111> (accessed 2.09.2024). (In Russ.)
2. Khalilova A. A., Tikhonova N. V. On the question of the use of a solution of silane as a final finish in the production of textile materials. *Kostyumologiya* [Journal of Clothing Science]. 2022;7,1. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/31TLKL122.pdf> (accessed 2.09.2024). (In Russ.)
3. Nabiev N. D. Study of the process of hydrophobization of cotton textile materials by new sizes. *Universum: tekhnicheskie nauki* [Universum: Technical Sciences]. 2022;4(97). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13400> (accessed 2.09.2024). (In Russ.)

4. Morozov A. V. Modern technological resources of formation of hydrophobic properties of textile materials. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik* [International Student Scientific Bulletin]. 2018;5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19202> (accessed 2.09.2024). (In Russ.)
5. Badanova A. K. Modification of cellulose fiber surface to give hydrophobic properties. *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)* [Physics of fibrous materials: structure, properties, knowledge-intensive technologies and materials (SMARTEX)]. 2014;1:109–113. (In Russ.)
6. Ryabchikov E. A. Development and research of functional composition for giving hydrophobic and oleophobic properties to textile materials from synthetic fibers Collection of scientific articles of the 5th International Scientific Conference of promising developments of young scientists. Vol. 4. Kursk, 2020. P. 453–458. (In Russ.)
7. Makhotkina L., Khalilova A. Hydrophobic textile materials with organosilicon impregnation. E3S Web of Conferences. Moscow, 2020. P. 03025.
8. Vladimirtseva E. L., Smirnova S. V., Odintsova O. I., Vinokurov M. V. Giving fire resistance to textile materials for various purposes. *Rossijskij himicheskij zhurnal* [Russian Chemical Journal]. 2014;58,2:49–58. (In Russ.)
9. Sabirzyanova R. N., Krasina I. V. Equipment and methods of testing textile materials for fire resistance. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2014;17,19:120–123. (In Russ.)
10. Summ B. D., Goryunov Yu. V. Physico-mechanical bases of wetting and spreading. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 232 p.
11. Kablov V. F., Novopol'tseva O. M., Kochetkov V. G., Lapina A. G. The main ways and mechanisms to improve fire- and heat resistance of materials. *Izvestija VolgGTU* [Izvestia Volgograd State Technical University]. 2016;4(183):46–60. (In Russ.)
12. Barnyagina O. V., Yumatova D. P., Zaripova L. E. [and others]. Multilayer protective polymer-textile material based on butadiene-styrene thermoplastic elastomer. Pat. Russian Federation, No. 2636500 C1 MPK B32B 25/02, C08L 9/06, C08L 27/06. No. 2016131809 : applied for. 02.08.2016 : published on 23.11.2017 ; applicant Joint Stock Company Kazan Chemical Research Institute.
13. Berlin A. A. Polymer combustion and polymeric materials of reduced flammability. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal* [Soros Educational Journal]. 1996;9:57–63. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 15.10.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 66.022

EDN OXJMQT

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-14-20>

Михаил Иванович Панин¹

Артур Радикович Гареев²

Андрей Андреевич Слюсарев³

Олег Игоревич Кулаков⁴

Татьяна Александровна Соболева⁵

^{1,2,3,5}АО «НИИГрафит», Москва, Россия

⁴Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия

¹MIPanin@rosatom.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6513-6767>

²ARgareev@rosatom.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5934-8456>

³AASlyusarev@rosatom.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9552-697X>

⁴kulakov@imash.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1716-2180>

⁵TatyAleSoboleva@rosatom.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9712-0342>

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР КАРКАСНЫХ ТКАНЕЙ И ИГЛОПРОБИВНЫХ ПОЛОТЕН, ВЫПОЛНЕННЫХ В ВИДЕ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования структур текстильных заготовок из углеродных материалов, предназначенных для производства углерод-углеродных (УУКМ) тормозных дисков для авиационной промышленности, формируемых на базе каркасных тканей и иглопробивных нетканых полотен. Проведен обзор качественных параметров тканей и иглопробивных нетканых полотен, влияющих на свойства получаемого композиционного материала. Установлено, что структура каркасных тканей и процесс формирования на их основе иглопробивных нетканых полотен существенно влияют на качество заготовок и, как следствие, на прочностные и эксплуатационные свойства углерод-углеродных тормозных дисков. Установлено, что применение ткани с поверхностной плотностью 400 г/м² для создания УУКМ на основе иглопробитых каркасов в сравнении с образцами на основе ткани с поверхностной плотностью 600 г/м² позволяет увеличить объемную долю волокна, уменьшить пористость в композите. При использовании ткани с поверхностной плотностью 400 г/м² существенно увеличивается относительная доля длинномерных пор, что свидетельствует о увеличении суммарной площади поверхности раздела на границе фаз.

Ключевые слова: тормоз, углеродный композит, углеродное волокно, матрица, иглопробивное полотно, структура композита

Для цитирования. Исследование структур каркасных тканей и иглопробивных полотен, выполненных в виде заготовок для производства углерод-углеродных тормозных дисков / М. И. Панин, А. Р. Гареев, А. А. Слюсарев, О. И. Кулаков, Т. А. Соболева // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 14–20. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-14-20>.

Original article

Mikhail I. Panin¹

Artur R. Gareev²

Andrey A. Slyusarev³

Oleg I. Kulakov⁴

Tatiana A. Soboleva⁵

^{1,2,3,5}JSC “Scientific research institute of graphite”, Moscow, Russia

⁴Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

STRUCTURES OF REINFORCING FABRICS AND NEEDLE-PUNCHED CLOTH MADE AS PREFORMS FOR THE CARBON-CARBON BRAKE DISCS MANUFACTURING

© Панин М. И., Гареев А. Р., Слюсарев А. А., Кулаков О. И., Соболева Т. А., 2024

Abstract. *The issues of designing structures of textile blanks made of carbon materials and intended for production of carbon-carbon brake discs for the aviation industry formed on the basis of frame fabrics and needle-punched nonwoven fabrics, are reviewed. Qualitative parameters of the fabrics and needle-punched nonwoven fabrics, affecting the properties of the resulting composite material, are reviewed. It is established that the structure of frame fabrics and the process of formation of needle-punched nonwoven fabrics on their basis, is what the quality of blanks significantly depends on; that also has an indirect impact on the strength and operational properties of carbon-carbon brake discs. It is established that the use of fabric with a surface density of 400 g/m² to create carbon-carbon composite materials based on needle-punched frames, compared to samples based on fabric with a surface density of 600 g/m², allows increasing the volume fraction of fibre, reducing porosity in the composite. Using fabric with a surface density of 400 g/m² the relative proportion of long dimension pores significantly increases, indicating an increase in the total surface area at the phase boundary.*

Keywords: *brake, carbon composite, carbon fabric, matrix, needle-punching cloth, composite structure*

For citation: Panin M. I., Gareev A. R., Slyusarev A. A., Kulakov O. I., Soboleva T. A. Structures of reinforcing fabrics and needle-punched cloth made as preforms for the carbon-carbon brake discs manufacturing. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 14–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-14-20>.

Проведенные ранее исследования, содержание которых отражено в патенте [1], показывают, что использование толстостенных текстильных заготовок из углеродных материалов является основой для производства фрикционных материалов, применяемых в тяжело нагруженных узлах трения машин и механизмов. Современные тормозные системы имеют сложную конструкцию, состоящую из отдельных дисков, каждый из которых должен выполнять свою функцию. Так, в конструкции тормозной системы предусматривают вращающиеся и неподвижные тормозные диски, которые, кроме конструктивных особенностей, должны обладать и трибологическими свойствами, т. е. устойчивостью к изменению структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях композита, возникающих под действием силы трения. Учитывая высокие требования, предъявляемые к фрикционным материалам в настоящее время, тормозные системы для авиационной промышленности изготавливаются преимущественно набором дисков из углеродных материалов на базе текстильных технологий с использованием углеродных волокон, нетканых полотен, тканей, намоток, трикотажа и т. д. Главная задача при этом заключается в создании заготовок с максимальным и равномерным заполнением объема структуры углеродным материалом и заданной ориентацией углеродных волокон относительно рабочей фрикционной поверхности диска [2].

Базой для формирования заготовок тормозных дисков высокой прочности и требуемых свойств из углеродных волокон [3–6] являются иглопробивные тканые и нетканые полотна. Структура таких полотен определяется свойствами применяемых каркасных тканей, которые мо-

гут иметь заданные параметры: по виду переплетения, плотности ткани по основе и утку, а также по структуре применяемых нитей (их линейной плотности, числу филаментов), определяющие коэффициенты заполнения основы и утка.

Первым этапом создания заготовок для тормозных дисков является выбор структуры каркасных тканей. Очевидно, что структура каркасных тканей, в первую очередь, должна проектироваться как равноплотная ткань, обеспечивающая при больших физико-механических воздействиях на нее равномерное распределение прилагаемых нагрузок на всю структуру тормозного диска. Равноплотная структура каркасных тканей обеспечивает более равномерное внедрение в ее структуру углеродного волокнистого иглопробивного наполнителя и пекового связующего. Необходимо учитывать то, что совершенно разные по структуре ткани могут иметь одинаковую проницаемость, которая зависит от площади пор между нитями основы и утка, структуры самих нитей, толщины вырабатываемой ткани, вида переплетения и т. д.

Для изготовления заготовок тормозных дисков из углеродных нитей чаще всего используются каркасные ткани главных переплетений – полотняного, сатинового и саржевого. Данные виды переплетений могут использоваться в одном пакете и в разных слоях заготовки. Названные переплетения показаны на рисунке 1.

Используя в структуре заготовок каркасных тканей различные переплетения или выкладывая их «лицом» и «изнанкой» друг на друга, можно добиваться формирования термостабилизирующего слоя, состоящего из разнонаправленных и неоднородных настилов моноволокон, который позволяет осуществить более быстрый отвод тепла из области трения в объем диска.

Вторым этапом создания заготовок для тормозных дисков является изготовление иглопробивных полотен на базе выбранных каркасных тканей.

Суть иглопробивного способа изготовления нетканого полотна заданной плотности заключается в прокалывании и закреплении углеродных штапельных волокон в структуре каркасной ткани, раскроенной в размер заготовок тормозных дисков. Этот процесс осуществляется на иглопробивных машинах путем механического воздействия на волокна специальными иглами с зубринами, направленными в сторону острия игл. Иглы с зубринами при иглопрокалывании каркасных тканей должны свободно проникать между филаментами, погружая штапельные волокна в структуру заготовки без разрушения самих нитей. При многократном иглопрокалывании волокнистого холста его волокна сцепляются не только с нитями отдельного слоя каркасной ткани, но и перепутываются между волокнами всех слоев заготовки, создавая объемный материал высокой плотности и прочности. Формируемая структура иглопробивного нетканого полотна характеризуется большим количеством вертикально расположенных волокон и хаотично расположенных пор, что способствует свобод-

ному удалению из нее влаги и более равномерному проникновению пекового связующего вглубь заготовки. Следует также отметить, что не все волокна смесового холста располагаются строго вертикально (перпендикулярно плоскости каркасных тканей), часть волокон располагается под некоторым углом, что может способствовать рассеянию тепловой энергии в структуре тормозного диска.

Целью данной работы является исследование параметров плотности материала, пористости структуры, соотношения компонентов и технологических процессов армирования УУКМ 2,5D структурами с различным наполнением и направлением армирующих волокон, формируемых на базе иглопробивных тканых и нетканых полотен.

Объекты исследования

В качестве объекта исследования были выбраны образцы 2,5D углерод-углеродных тормозных дисков на основе ткани Т600 для образцов 1 и 2 и ткань УТР 610-12-400П для образца 3. Образец 1 предварительно пропитан фенолформальдегидной смолой. Образцы 2 и 3 предварительную пропитку фенолформальдегидным связующим не проходили.

Характеристики тканей и нитей образцов приведены в таблице 1.

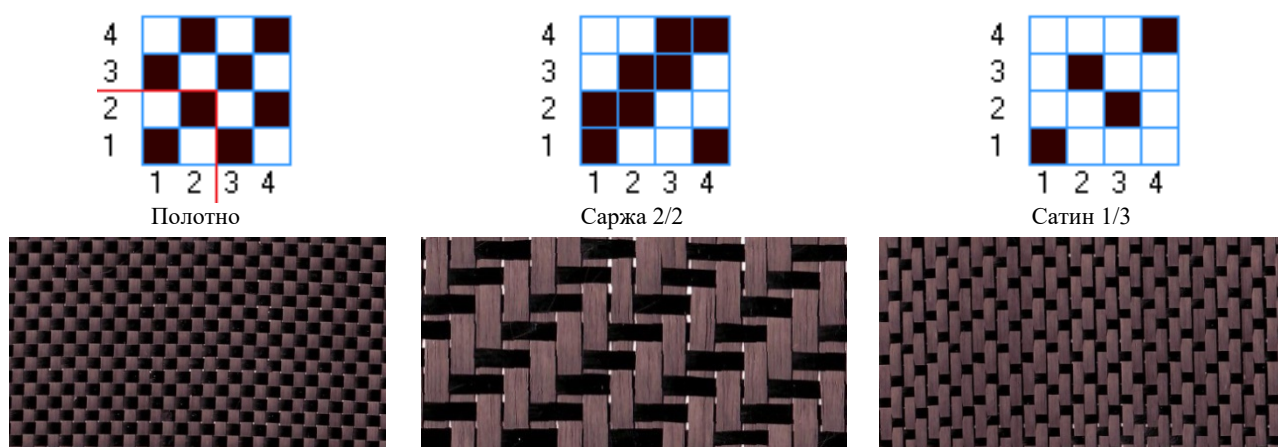


Рис. 1. Схемы переплетения и внешний вид каркасных тканей (полотно, саржа 2/2, сатин 1/3)

Параметры исходных тканей для изготовления образцов из 2,5D УУКМ

Т а б л и ц а 1

Показатель	Образец	
	3	1 и 2
Ткань	УТР 610-12-400П	Т600
Поверхностная плотность, г/м ²	400 ± 20	600 ± 20
Количество нитей основы на 10 см, шт.	25 ± 2	39 ± 2
Количество нитей утка на 10 см, шт.	25 ± 2	39 ± 2
Переплетение	Полотно	Саржа 2/2
Используемая нить	Т700, 12К	SYT 45S, 12К
Филаментарная прочность, ГПа	4,9	4,5
Модуль упругости, ГПа	230	230
Плотность волокна, г/см ³	1,79	1,79

Армирующие каркасы для изготовления образцов 1, 7 и Т были получены с помощью иглопробивки. Для получения конечного материала их подвергли предварительной пропитке среднетемпературным пеком, а затем циклам уплотнения и высокотемпературной термообработки [7]: вакуумная заливка среднетемпературным пеком – пропитка и карбонизация под давлением – высокотемпературная термообработка в электровакуумной печи.

Для проведения исследований сформированных структур заготовок тормозных дисков применяли метод оптической микроскопии с помощью микроскопа «Микромед ПОЛАР 3». В качестве образцов использовали шлифы УУКМ.

Результаты исследования. Исследование объемного заполнения и пористости УУКМ на основе равноплотных иглопробивных текстильных структур проводилось за счет определения пористости образцов, а также их конфигурации методом оптической микроскопии.

На рисунках 2, 3 и 4 представлены микрофотографии структур образцов 1, 7 и Т, соответственно, которые использовали для расчета долей пор и пористости этих образцов.

На снимках можно наблюдать структурные составляющие УУКМ: углеродное волокно на снимке имеет светло-серый цвет, углеродная матрица темно-серого цвета. Микропоры имеют

черный цвет и представлены на снимке вместе с линейными размерами.

По форме волокна можно увидеть, что на снимках образцов 1 и 7 волокно преимущественно находится под небольшим относительно перпендикуляра углом к плоскости шлифа, в то время как на снимке образца Т волокно почти параллельно плоскости шлифа.

С помощью оптической микроскопии определены формы пор, их размеры и площадь [8]. Найденные поры можно разделить на сферические, которые находятся в слоях матрицы, и на длинномерные, которые находятся на границе волокно – матрица. Данные обработаны в программе ImageJ. Результаты расчета пористости и объемных долей образцов представлены в таблицах 2 и 3.

Анализ данных таблиц 2 и 3 показывает, что характер и количество пор в структуре углерод-углеродного композиционного материала напрямую зависит от ряда факторов, а именно от исходного объемного заполнения волокном общего объема композита, а также от структуры армирующего компонента [9, 10].

Увеличение плотности композита в первую очередь позволяет уменьшить количество пор в слоях матрицы [11], но лишь незначительно снизить пористость материала на границе раздела фаз волокно – матрица, что является одной из основных причин расслоения УУКМ.

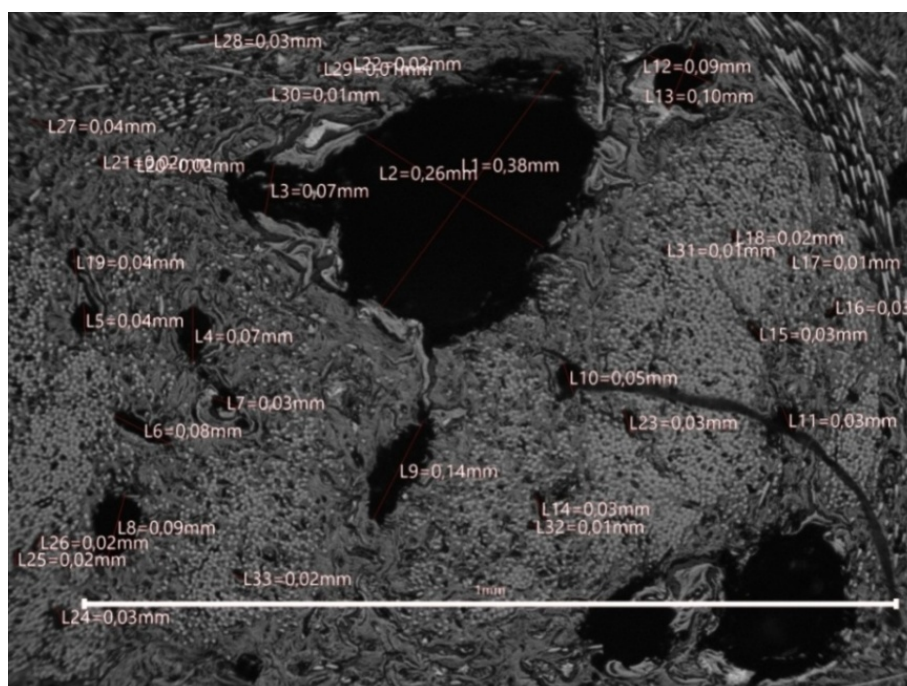


Рис. 2. Образец 1

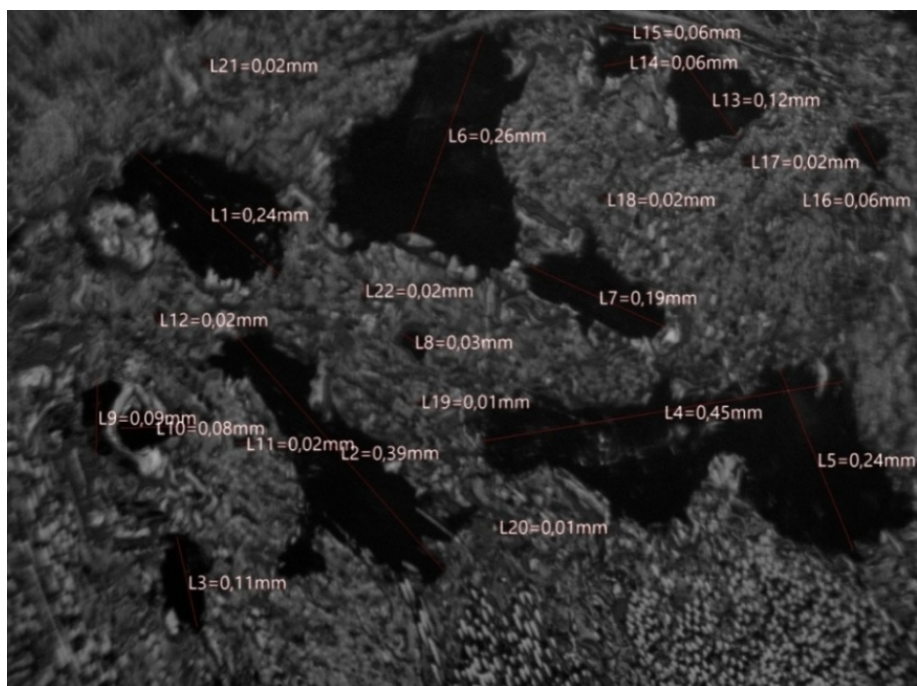


Рис. 3. Образец 2

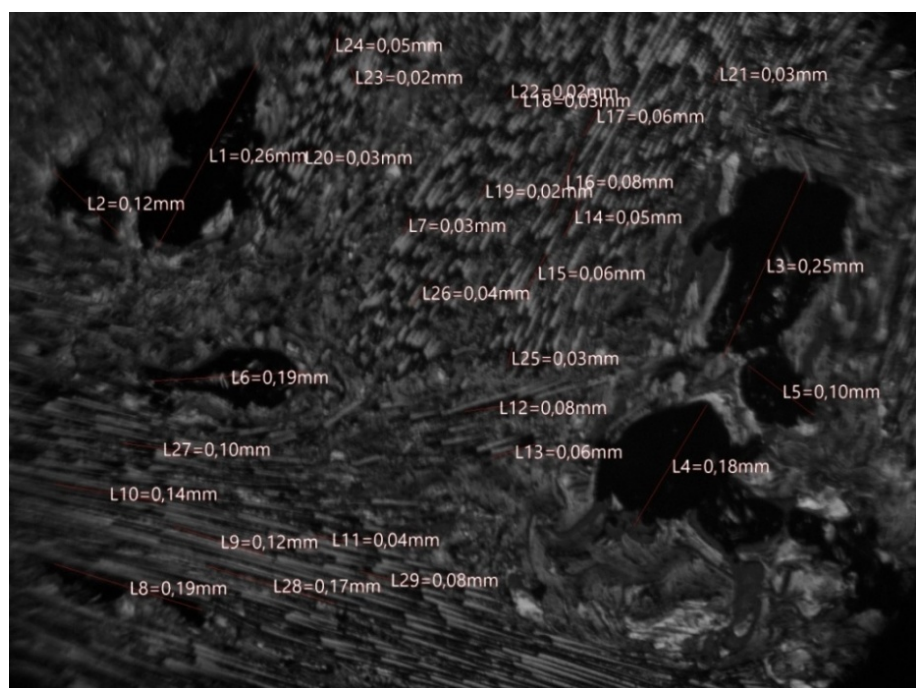


Рис. 4. Образец 3

ВЫВОДЫ

1. Применение ткани с поверхностной плотностью 400 г/м^2 для создания УУКМ на основе иглопробитых каркасов в сравнении с образцами на основе ткани с поверхностной плотностью 600 г/м^2 позволяет увеличить объемную долю волокон, уменьшить пористость в композите.

2. При использовании ткани с поверхностной плотностью 400 г/м^2 существенно увеличивается относительная доля длинномерных пор,

что свидетельствует о увеличении суммарной площади поверхности раздела на границе фаз.

3. Дальнейшее развитие структур фрикционных композиционных материалов и совершенствование технологических процессов их изготовления должно быть направлено на изыскание способов увеличения коэффициента заполнения композита наполнителем и более равномерного распределения матрицы в объеме заготовок.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчета пористости и объемных долей компонентов материала

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Плотность, г/см ³	1,74	1,73	1,76
Открытая пористость, %	11,6	12,3	10,7
Пористость, определенная с помощью оптической микроскопии, %	12,99	16,23	10,21
Объемная доля волокна, %	45,11	44,36	48,63
Объемная доля матрицы, %	41,90	39,41	41,16

Т а б л и ц а 3

Относительная доля пор в образцах на снимках, %

Номер образца	Сферические поры в слоях матрицы	Длинномерные поры (расслоение на границе раздела)
1	30,01	69,99
2	34,44	65,56
3	20,87	79,13

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. РФ № 2820117 Российская Федерация. Способ изготовления волокнистого армирующего каркаса для углерод-углеродных тормозных дисков. Заявка № 2023122481, опубл: 29.05.2024 / Гареев А. Р., Карпов А. П., Панин М. И., Корчинский Н. А., Слюсарев А. А. ; заявитель и патентообладатель АО «НИИГрафит».
2. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты : монография. СПб. : Научные основы и технологии, 2009. 379 с.
3. Пат. SU 1811568A3. МПК F16D 69/00. Углеродный фрикционный диск : № 5002539 : заявл. 01.08.1991 : опубл. 23.04.1993, Бюл. № 15(71) / В. И. Костиков, Т. Е. Голубкова, А. Ю. Орлов, В. В. Кулаков ; заявитель и патентообладатель государственный научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита. 4 с.
4. Оценка технического состояния объектов, работающих под давлением, при ограниченном доступе к поверхности с использованием метода акустической эмиссии / А. И. Гневко, О. Е. Зубов, С. В. Гразион, М. В. Мукомела, В. А. Кобзев // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 217(7). С. 27–35.
5. Углеродные волокна : пер. с яп. / С. Симамура, А. Синдо, К. Коцука [и др.] ; под ред. С. Симамуры. М. : Мир, 1987. 304 с.
6. Конкин А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М. : Химия, 1974. 375 с.
7. Углеродные волокна и углекомпозиаты : пер. с англ. / Э. Фитцер, Р. Дифендорф, И. Калнин [и др.] ; под ред. Э. Фитцера. М. : Мир, 1988. 336 с.
8. Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин, Н. М. Рыжов ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 646 с.
9. Комарова Т. В. Получение углеродных материалов : учеб. пособие / РХТУ им. Д. И. Менделеева. М., 2001. 94 с.
10. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. М. : САЙНС-ПРЕСС, 2007. 192 с.
11. Новиков В. У., Кобец Л. П., Деев И. С. Исследование углеродных волокон с использованием мультифрактального формализма // Пластические массы. 2004. № 2. С. 15.

REFERENCES

1. Gareev A. R., Karpov A. P., Panin M. I., Korchinsky N. A., Sliusarev A. A. Method of manufacturing of fibre reinforcing frame for carbon-carbon brake discs. Russian Federation Patent No. 2820117. Application No. 2023122481, publ.: 29.05.2024 ; applicant and patentee JSC “NIIGraphite”. (In Russ.)
2. Perepelkin K. E. Reinforcing fibres and fibrous polymer composites. Saint Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2009. 379 p. (In Russ.)
3. Kostikov V. I., Golubkova T. E., Orlov A. Y., Kulakov V. V. Carbon friction disc. Cop. certificate No. 1811568 USSR, MPK F16D 69/00. No. 5002539 : applied. 01.08.1991 : published on 23.04.1993,

- Bulletin № 15(71); *Gosudarstvenny`j nauchno-issledovatel`skij institut konstrukcionny`x materialov na osnove grafita* (Applicant State Scientific Research Institute of Structural Materials Based on Graphite). 4 p. (In Russ.)
4. Gnevko A. I., Zubov O. E., Grazion S. V., Mukomela M. V., Kobzev V. A. Pressurised objects technical condition evaluation with limited access to surface using acoustic emission method. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Civil Aviation Higt Technologies]. 2015;217(7):27–35. (In Russ.)
 5. Shimamura S. (ed.), Sindo A., Kocuka K. [et al.]. *Carbon Fibres*. Moscow, Mir Publ., 1987. 304 p. (In Russ.)
 6. Konkin A. A. *Carbon and other heat-resistant fibre materials*. Moscow, Khimiya Publ., 1974. 375 p. (In Russ.)
 7. Fitzer E. (ed.), Difendorf R., Kalnin I. [et al.]. *Carbon Fibres and Carbon Composites*. Moscow, Mir Publ., 1988. 336 p. (In Russ.)
 8. Arzamasov B. N. (ed.), Makarova V. I., Mukhin G. G. (ed.), Ryzhov N. M. *Materials science*. 3rd edition, revised and supplemented. Moscow, Bauman Moscow St. Tech. Univ. Publ., 2001. 646 p. (In Russ.)
 9. Komarova T. V. *Preparation of carbon materials*. Moscow, Mendeleev Univ. of Chemical Technology of Russia Publ. Moscow, 2001. 94 p.
 10. Meleshko A. I., Polovnikov S. P. *Carbon, Carbon fibers, Carbon composites*. Moscow, Sayns-press Publ. 2007. 192 p. (In Russ.)
 11. Novikov V. U., Kobec L. P., Deev I. S. The study of carbon fibers using a multifractal formalism. *Plasticheskie massy* [Plastic masses]. 2004;2:15. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 9.09.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 677.017.653:687.157:622

EDN EACFSO

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>

Антон Вячеславович Абрамов¹

Владимир Владимирович Кургузов²

Маргарита Всеволодовна Родичева³

^{1,2} Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

^{1,3} Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия

¹ Ant-lin88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7082-1344>

² forbeemo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-0962-5386>

³ rodicheva.unpk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1092-6141>

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕПРОНИЦАЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ШАХТЕРСКОГО КОСТЮМА

Аннотация: Показано, что повышение безопасности шахтерских костюмов связано с развитием теоретических представлений о физических процессах в текстильных материалах. Современное понимание прохождения запыленного воздуха через текстильный материал не всегда позволяет обеспечить безопасность шахтерских костюмов. Установлено, что одним из путей решения этой задачи является построение и использование цифровых двойников процессов пылепроницаемости текстильных материалов. Проведен анализ механизмов прохождения запыленного воздуха через текстильный материал, предложена модель движения пыли в воздушном потоке в непосредственной близости и в структуре текстильного материала. Составлена математическая модель захвата частиц пыли структурными элементами ткани. На основе этих представлений составлена численная модель пылепроницаемости текстильного материала, получено ее решение на примере ткани, показан пример использования результатов моделирования при расчете пылепроницаемости и пылеемкости текстильных материалов.

Ключевые слова: шахтерский костюм, пылепроницаемость, пылеемкость, частицы пыли, численная модель, фракция пыли, механизмы захвата пыли материалом

Для цитирования. Абрамов А. В., Кургузов В. В., Родичева М. В. Численная модель процессов пылепроницаемости текстильных материалов шахтерского костюма // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 21–27. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>.

Original article

Anton V. Abramov¹

Vladimir V. Kurguzov²

Margarita V. Rodicheva³

^{1,2} Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

^{1,3} Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

NUMERICAL MODEL OF DUST PERMEABILITY PROCESSES OF TEXTILE MATERIALS OF MINER'S SUIT

Abstract: It is shown that improving the safety of miner's suits is associated with the development of theoretical concepts of physical processes in textile materials. The current understanding of the passage of dusty air through a textile material does not always ensure the safety of miner's suits. It has been established that one of the ways to solve this problem is to build and use digital twins of the processes of dust permeability of textile materials. The mechanisms of dusty air passage through a textile material are analyzed, a model of dust movement in the air flow in the immediate vicinity and structure of the textile material is proposed. A mathematical model of dust particle capture by structural elements of the fabric is compiled. Based on these ideas, a numerical model of dust permeability of a textile material is compiled, its solution is obtained using the example of fabric, an example of using the modeling results in calculating the dust permeability and dust capacity of textile materials is shown.

© Абрамов А. В., Кургузов В. В., Родичева М. В., 2024

Keywords: *miner's suit, dust permeability, dust capacity, dust particles, numerical model, dust fraction, mechanisms of dust capture by material*

For citation: Abramov A. V., Kurguzov V. V., Rodicheva M. V. Numerical model of dust permeability processes of textile materials of miner's suit. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>.

Одним из обязательных условий работы шахтера на глубине является эффективная защита от комплекса негативных факторов рабочей среды: повышенных температуры воздуха и концентрации пыли, механических воздействий. Также необходимо обеспечить защиту от воздействия поражающих факторов при аварийной ситуации (воспламенение, взрыв паров легко воспламеняющихся газов). Эту задачу решают за счет средств индивидуальной защиты в составе шахтерского костюма, каски, перчаток, защитных ботинок, фонарика и других приспособлений [1].

Согласно ГОСТ Р 12.4.299–2017, шахтерский костюм представляет собой комплект специальной одежды, состоящий из взаимодополняющих предметов одежды – куртки, брюк или полукombineзона, которые позволяют защитить пользователя и имеют общее функциональное назначение [2].

Для обеспечения безопасности работника шахтерский костюм изготавливается из текстильных материалов, которые обладают заданным уровнем: антистатических свойств; огнестойкости; пылепроницаемости и пылеемкости; водонепроницаемости и маслоотталкиваемости [3]. Уровень этих свойств текстильных материалов, обеспечивающий безопасность и качество шахтерского костюма, регламентируется ТР ТС 019/2011, ГОСТ Р 12.4.299–2017 и другими нормативными документами [2, 4].

Проводятся многочисленные исследования этих свойств материалов для одежды, в том числе шахтерских костюмов [5–7]. В то же время темпы научных работ по развитию методов оценки пылепроницаемости текстильных материалов остаются низкими. Стандартный метод предусматривает ряд критичных допущений, снижающих точность испытания [8]. Анализ патентной литературы позволил выявить всего два устройства для испытания пылепроницаемости и пылеемкости материалов [9, 10]. Точные методы прогнозирования безопасности комплектов шахтерской одежды при анализе научной литературы не выявлены.

В результате уровень профессиональных заболеваний работников угледобывающих предприятий остается достаточно высоким, в его структуре представлены: болезни опорно-двигательного аппарата (48 %), нейросенсорная туго-

ухость (22,2 %), пневмокониозы (7 %), дерматоконтиозы (5 %) [11, 12]. В числе основных инструментов профилактики профессиональной заболеваемости – использование комплектов эффективных средств индивидуальной защиты. Безопасные и качественные шахтерские костюмы позволяют снижать риск заболевания дерматоконтиозами и общий уровень травматизма.

Для повышения безопасности и качества шахтерских костюмов необходимо дальнейшее развитие теоретических представлений о процессах прохождения запыленного воздуха через текстильные материалы. Результаты таких исследований позволят уточнить требования при проектировании новых текстильных материалов, а также более обосновано подбирать существующие материалы при проектировании шахтерской одежды. Одним из наиболее эффективных инструментов получения новых теоретических представлений является метод численного моделирования.

Для построения компьютерных моделей процессов прохождения запыленного воздуха через текстильные материалы нами разработана схема процесса прохождения пыли через текстильный материал (рис. 1). Сама ткань 1 представлена проекцией нитей системы основы или утка, диаметр которых соответствует диаметру нитей (d_n , мм), а расстояние между ними – расстоянию между нитями (l_n , мм) в ткани. В зависимости от фазы ее строения центры кругов 2 могут располагаться на одной вертикальной линии, как показано на схеме, либо смещаться друг относительно друга на величины $0,5 d_n$ или d_n .

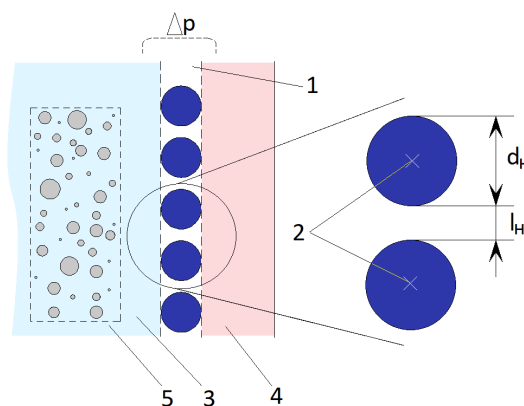


Рис. 1. Схема моделирования процессов пылепроницаемости текстильных материалов

Ткань разделяет пространство модели на внешнее 3, в котором присутствует пыль 5, и внутреннее 4, которое соответствует пододежному. Частицы пыли представлены кругами различного диаметра.

Между пододежным пространством и окружающей средой задается разность давлений воздуха (Δp , Па), в соответствии с реальными условиями эксплуатации, под действием которой запыленный воздух проходит из окружающей среды в пододежное пространство сквозь текстильный материал.

Пылинки, являясь частью этого потока, движутся по своим траекториям, которые определяются комплексом сил (рис. 2, а), включая:

- силу инерции, которая стремится разогнать частицу пыли до скорости самого воздушного потока ($F_{пот}$, Н);
- силу трения, которая стремится затормозить частицу пыли ($F_{тр}$, Н);
- силу тяжести, которая пытается опустить частицу пыли (F_T , Н);
- силу, которая удерживает частицу пыли на занимаемой высоте. В зависимости от вида движения потока в этом качестве может выступать сила трения или выталкивающая сила восходящих воздушных струй ($F_{е.к}$, Н).

Система уравнений, описывающая движение частицы пыли в воздушном потоке с учетом комплекса сил, принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \rho_a \frac{\partial v_a}{\partial \tau} + \rho_a (v_a \cdot \nabla) v_a = \\ = \nabla \left[-pI + \mu(\nabla v_a + (\nabla v_a)^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot v_a) \right] + F_s, \\ \frac{\partial v_a}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho_a v_a) = 0, \\ \rho_s \frac{\partial^2 v_s}{\partial \tau^2} - \nabla \cdot \sigma = F_s, \end{cases} \quad (1)$$

- где ρ_a – плотность воздуха, кг/м³;
 v_a – скорость движения воздуха, м/с;
 τ – время, с;
 ∇ – векторный дифференциальный оператор набла;
 p – давление воздуха, Па;
 I – единичный нормальный вектор;
 T – температура воздуха, К;
 μ – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м²;
 F_s – сила, побуждающая движение пылинки в воздухе;
 v_s – скорость движения пылинки, м/с;
 σ – одноосное нормальное напряжение на границе пылинки – воздух, Н.

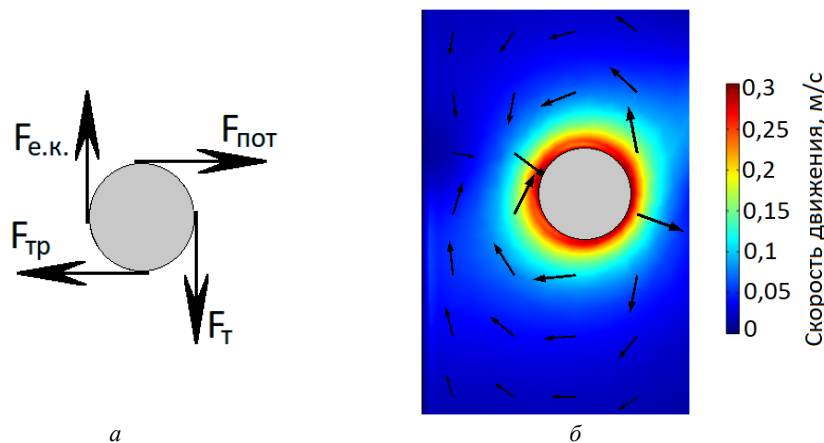


Рис. 2. Движение частицы пыли в воздушном потоке:
 а – комплекс сил, действующих на частицу пыли;
 б – распределение механических сил, действующих на частицу пыли в воздушном потоке

В результате решения системы (1) можно получить поле скорости частицы пыли и комплекс действующих на нее механических сил (например, на рис. 2, б). При прохождении запыленного воздуха сквозь текстильный материал пыль частично захватывается нитями за счет следующих процессов (рис. 3).

- Столкновения (поз. 1): если размеры и масса частицы пыли достаточно велики, она не может изменить траекторию движения вме-

сте с воздушным потоком и врезается в нить, полностью теряя свою кинетическую энергию. В дальнейшем силы трения удерживают частицу пыли на поверхности нити.

Математическая модель этого явления строится на основе баланса сил: силы воздушного потока, действующие на частицу пыли по ее границам (T_i) и силы (μT_n), с которой частица пыли действует на нить по нормали к ней. Если T_i будет больше, чем

μT_n , то частица пыли вновь будет вовлечена в воздушный поток, если μT_n окажется больше T_t , то частица пыли будет удерживаться на поверхности нити. Таким образом, условие захвата принимает следующий вид:

$$T_t \leq \min(\mu T_n). \quad (2)$$

- *Касания* (поз. 2): при перемещении вдоль нити частица может коснуться ее поверхности, при торможении силами трения частица пыли оседает на нити. Этот процесс также описывается уравнением (2).

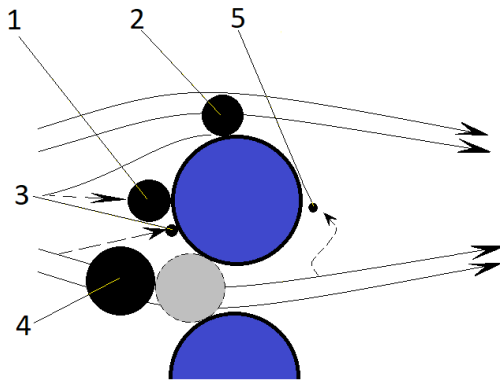


Рис. 3. Механизмы захвата пылевых частиц элементами текстильного материала

- *Электростатического осаждения* (поз. 3): если заряды частицы пыли и нити будут разными, они притягиваются друг к другу. Частица пыли сепарируется из воздушного потока и прилипает к поверхности нити. Этот процесс описывается уравнением Гаусса – Остроградского:

$$\nabla \cdot D = \varepsilon_0 \nabla \cdot \varepsilon E = \rho, \quad (3)$$

где D – поток вектора электрической индукции;

ε_0 – электрическая постоянная вакуума ($8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

ε – диэлектрическая проницаемость среды, м/Гн;

E – вектор напряженности электростатического поля, В/м;

ρ – объемная плотность свободного заряда на поверхности нити (частицы пыли), Кл/м³.

- *Ситового эффекта* (поз. 4): размеры крупных частиц пыли нередко превышают расстояние между нитями. В этом случае частица пыли частично или полностью перекрывает поле просвета, задерживаясь в ткани. По мере накопления пыли в ткани размеры свободных участков полей просвета уменьша-

ются и ситовый эффект становится более выраженным. Математическая модель этого процесса имеет следующий вид:

$$F_L v_s = -F_s v_n - \rho_s d^2 v_s \frac{\partial(v_n - v_s)}{\partial \tau}, \quad (4)$$

где F_L – давление частицы пыли на нить, Н;

F_s – давление нити на частицу пыли, Н;

v_n – текущая скорость движения частицы пыли, м/с;

v_s – начальная скорость движения частицы пыли (в потоке), м/с;

ρ_s – объемная плотность материала частицы пыли, мг/м³;

d – диаметр частицы пыли, м;

τ – время численного эксперимента, с.

- *Диффузии* (поз. 5): частицы пыли фракций от 0 до 63 мкм движутся в потоке воздуха хаотично. Случайные флуктуации могут подвести частицу к нити, в результате чего она осаждается, например, за счет электростатических сил. Математическая модель диффузионных процессов частицы пыли составлена исходя из уравнения Ланжевена:

$$m a_s = \Phi(x, y) - \gamma v_s + \eta(\tau), \quad (5)$$

где $\Phi(x, y)$ – силы, возникающие при взаимодействии частицы пыли с воздухом на молекулярном уровне, Н;

γ – динамическая вязкость воздуха, Па·с;

$\eta(\tau)$ – случайные флуктуации, вносящие вклад в процесс движения частицы пыли, Н.

Случайные флуктуации движения нами не учитывались, в результате чего последнее слагаемое уравнения (5) принималось равным нулю.

Рассмотрим пример моделирования процессов прохождения запыленного воздуха через ткань толщиной 0,5 мм и поверхностной плотностью 260 г/м². В результате анализа структурных характеристик установлено, что в сечении нитей основы диаметр кругов модели должен составлять 0,5 мм, а расстояние между ними – 0,16 мм, а в сечении нитей утка – соответственно 0,42 и 0,18 мм.

Ограничим внешнее пространство модели 15,0 мм³, а внутреннее – 12,0 мм³, за счет чего расчетная схема принимает следующий вид (рис. 4).

В качестве дисперсной фазы в составе воздуха принята пыль каменного угля Ворогошорского месторождения, основные характеристики которой хорошо изучены (табл. 1).

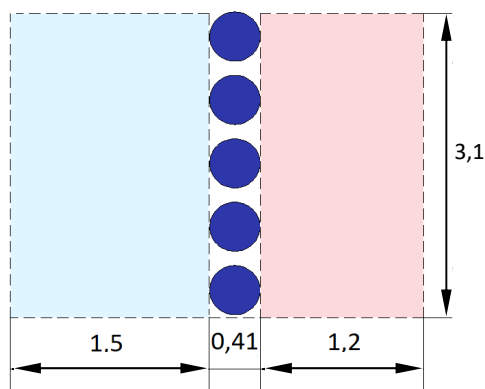


Рис. 4. Уточненная геометрическая схема модели

При проведении моделирования концентрация пыли в воздухе принята равной среднему значению между нижним ($0,7 \text{ г/м}^3$) и верхним (20 г/м^3) значением концентрации, наблюдаемой в шахте при добыче каменного угля, т. е. $C_{п-р} = 10 \text{ г/м}^3$. Для этой концентрации было рассчитано количество частиц пыли различной фракции (табл. 2).

Эти частицы были внесены в зону, соответствующую внешнему пространству модели (рис. 5, а). Между внешней и внутренней областями модели задана разность давления воздуха $\Delta p = 50 \text{ Па}$, которая, согласно ГОСТ 12088–77, наблюдается между пододежным пространством и окружающей средой [13].

За счет этого воздух движется в горизонтальном направлении сквозь материал. Для численного моделирования этого движения относительно каждой частицы пыли решалась система уравнений (1). Для всех пар границ «пыль – нить» решались уравнения взаимодействия: Гаусса – Остроградского, Ланжевена, трения, давления при контакте. В случае преобладания комплекса сил взаимодействия над кинетической энергией потока частица сепарировалась из воздушного потока и оседала на нити.

Результаты решения модели по времени приведены на рисунке 5. Для удобства восприятия поле скоростей воздуха было выключено при отображении результатов решения, что позволяет наблюдать движение каждой частицы пыли.

Т а б л и ц а 1

Свойства пыли каменного угля Ворогошорского месторождения

Дисперсность (фракционный состав), мкм	0...45	46...63	64...94	95...125	125...140	141...200
Выход фракции, %	3,78	18,56	32,77	14,58	9,74	20,55
Объемная плотность фракции, г/см^3	0,42	0,43...0,55	0,56...0,62	0,63...0,67	0,68...0,7	0,71...0,8

Т а б л и ц а 2

Количество частиц пыли в воздушном объеме рассматриваемой модели

Дисперсность (фракционный состав), мкм	0...45	46...63	64...94	95...125	125...140	141...200
Выход фракции, %	3,78	18,56	32,77	14,58	9,74	20,55
Количество частиц пыли по фракциям	1	4	8	4	3	5
Общее количество частиц пыли в рассматриваемом воздушном объеме	23					

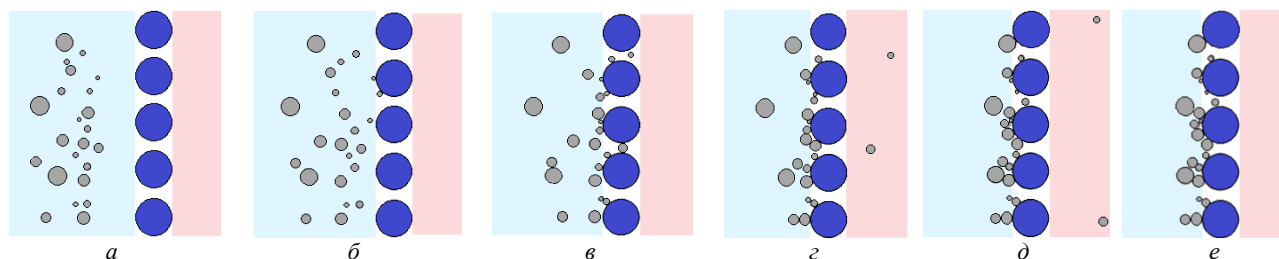


Рис. 5. Результаты численного моделирования движения запыленного воздуха через текстильный материал:

- а – исходное положение пылевых частиц во внешнем воздушном пространстве;
- б – положение пылевых частиц спустя 0,5 с с численного эксперимента;
- в – положение пылевых частиц спустя 1,0 с с численного эксперимента;
- г – положение пылевых частиц спустя 1,5 с с численного эксперимента;
- д – положение пылевых частиц спустя 2,0 с с численного эксперимента;
- е – положение пылевых частиц спустя 2,5 с с численного эксперимента

Как видно, спустя 0,5 с после приложения Δp , частицы пыли малых фракций разгоняются в воздушном потоке, а средних и больших фракций почти не изменяют своего положения (см. рис. 5, б). Спустя 1,0 с некоторые из малых частиц достигают нитей и вступают с ними во взаимодействие. Средние и большие частицы начинают движение и на временной отсечке 1,5 с взаимодействуют с материалом (см. рис. 5, з). Их большая часть оседает на нитях.

Спустя 2,0 с после приложения Δp все частицы малых и средних фракций успевают войти в контакт с текстильным материалом (см. рис. 5, з). В результате 21 частица из 23 оседает на поверхности нитей под действием одного из рассматриваемых механизмов взаимодействия, а в пододежное пространство проходят всего две: диаметром 54 мкм (мелкая фракция 46–63 мкм) и диаметром 79 мкм (средняя фракция от 64 до 94 мкм).

Крупные частицы достигают материала позже мелких (см. рис. 5, е). К этому моменту расстояние между нитями уже успевает заполниться пылевыми частицами средних и мелких фракций, что уменьшает свободное пространство полей просвета и дополнительно затрудняет возможность прохождения пыли сквозь тек-

стильный материал. В результате крупные пылевые частицы также задерживаются в ткани.

ВЫВОДЫ

Учитывая размер и объемную плотность пылевых частиц, через структуру рассматриваемой ткани прошло 10,8 % от общей массы пыли. Таким образом, 89,2 % всей пыли осело на поверхности ткани. На основе этого можно рассчитать пылеемкость и пылепроницаемость тканей.

Вместе с тем известно, что точность численных моделей необходимо верифицировать опытными данными. Для этого в настоящий момент авторами разрабатывается конструкция экспериментальной установки. После проверки численную модель можно будет рассматривать в качестве цифрового двойника процессов прохождения запыленного воздуха через образцы текстильных материалов и процессов осаждения пылевых частиц на элементах этого образца. Использование цифрового двойника позволит уточнить требования при проектировании новых текстильных материалов и более обоснованно подбирать текстильные материалы при проектировании шахтерской одежды, за счет чего повысится безопасность и качество готовых комплектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Deliang C. Involved in the protective clothing acid-base classes of chemical protective clothing drafting national standards introduced // Chinese standardization. 2010. Vol. 10(9). P. 67–72.
2. ГОСТ Р 12.4.299–2017. Система стандартов безопасности труда. Костюмы шахтерские для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений. Общие технические требования. Введ. 01.07.2018. М. : Изд-во стандартов, 2014. 24 с.
3. Hu F., Xing J. General requirements of the protective clothing introduction // Journal of Chinese individual protective equipment. 2008. Vol. 8(1). P. 76–79.
4. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты : утв. Решением Комиссии Таможенного Союза № 878 от 9.12.2011. М., 2020. 108 с.
5. Панкевич Д. К., Буркин А. Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. 2022. № 2(56). С. 5–10.
6. Петухов А. Н., Давыдов А. Ф. Влияние стирок на теплофизические свойства текстильного материала при воздействии теплового потока открытого пламени и нагревательного элемента // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 10–15.
7. Jian Y., Dongmei T. Study on special protective clothing of coal mine // 2nd international symposium of mine safety science and engineering. Beijing, 2013. P. 551–555.
8. ГОСТ 17804–2020. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Метод определения пылепроницаемости тканей и соединительных швов : Введ. 01.10.2021. М. : Стандартинформ, 2021. 9 с.
9. Пат. РФ № 12861 G01N 15/08. Устройство для определения пылеемкости текстильных материалов / Метелева О. В., Цапалов Б. М., Веселов В. В., Дэлгэрсурэн Балдан-Осар, Носова М. В., Немихина М. В., Припеченкова Н. С. Заявл. 12.07.1999 ; опубл. 10.02.2000. Бюл. 4. 6 с.
10. Пат. SU № 1 205 014. Устройство для определения пылеемкости текстильных материалов / Маглаперидзе З. И., Кобляков А. И., Ратиани Н. И., Кучава Н. Г. Заявл. 20.07.1984 ; опубл. 15.01.1986. 3 с.
11. Мартынова Н. А., Кислицин В. В. Профессиональная заболеваемость шахтеров (обзор литературы) // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2017. № 5. С. 46–52.

12. Hodgson G. Skin hazards of coal mining with particular reference to dermatitis // *British Journal of Dermatology*. 2006. Vol. 67(12). P. 426–433.
13. ГОСТ 12088–77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. Введ. 01.01.1979. М. : Изд-во стандартов, 2015. 11 с.

REFERENCES

1. Deliang C. Involved in the protective clothing acid-base classes of chemical protective clothing drafting national standards introduced. *Chinese standardization*. 2010;10(9);67–72.
2. *GOST R 12.4.299–2017. Sistema standartov bezopasnosti truda. Kostuymy shakhterskie dlya zashchity ot mekhanisheskih vozdeystvij i obshchih proizvodstvennykh zagryaznenij. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [State Standart 12.4.299–2017. Occupational safety standards system. Miners' suits for protection against mechanical impacts and general industrial pollution. General technical requirements]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2014. 24 p. (In Russ.)
3. Hu F., Xing J. General requirements of the protective clothing introduction. *Journal of Chinese individual protective equipment*. 2008;8(1);76–79.
4. *TR TS 019/2011. O bezopasnosti sredstv individualnoy zashchity* [Technical Reglament Customs Union 019/2011 On the safety of personal protective equipment]. Commissions of the Customs Union. Moscow, 2020. 108 p. (In Russ.)
5. Pankevich D. K., Burkin A. N. Methodology for assessing the properties of materials for waterproof clothin. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2022;2(56):5–10. (In Russ.)
6. Petukhov A. N., Davydov A. F. The influence of washing on the thermophysical properties of textile material when exposed to heat flow of an open flame and a heating element. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2021; 4(54):10–15. (In Russ.)
7. Jian Y., Dongmei T. Study on special protective clothing of coal mine. 2nd international symposium of mine safety science and engineering. Beijing, 2013. P. 551–555.
8. *GOST 17804–2020. Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda spetsialnaya. Metod opredelenya pylpronsaemosti tkaney i soyedenitelny khshvov* [State Stadart 17804–2020. Occupational safety standards system. Special clothing. Method for determining the dust permeability of fabrics and connecting seams]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 9 p. (In Russ.)
9. Metelyova O. V., Tsapalov B. M., Veselov V. V., Delgersuren Baldan-Osar, Nosova M. V., Nemikhina M. V., Pripechenkova N. S. Device for determining the dust capacity of textile materials Pat. RF No. 12861, 12.07.1999. (In Russ.)
10. Maglaperidze Z. I., Koblyakov A. I., Ratiani N. I., Kuchava N. G. Device for determining the dust capacity of textile materials. Pat. SU No. 1205014, 20.07.1984. (In Russ.)
11. Martynova N. A., Kislitsyn V. V. Occupational morbidity of miners (literature review). *Zdorovye. Meditsinskaya ekologiya. Nauka* [Health. Medical Ecology. Science]. 2017;5:46–52. (In Russ.)
12. Hodgson G. Skin hazards of coal mining with particular reference to dermatitis. *British Journal of Dermatology*. 2006;67(12):426–433.
13. *GOST 12088–77. Materialy tekstilnye i izdeliaiznih. Metod opredelenya vozduhopronitsaemosti* [State Standart 12088–77. Textile materials and products made from them. Method for determining air permeability]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1979. 11 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 2.10.2024
Принята к публикации 30.10.2024

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

УДК 677.027.625.133.2

EDN IDRAPT

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-28-36>

Алексей Михайлович Щепочкин¹

Юлия Алексеевна Щепочкина²

¹ Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

² Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, г. Иваново, Россия

¹ alexeyshchepochkin@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0530-8350>

² julia2004ivanovo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6792-8239>

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВЫДЕЛЕНИЙ ПЫЛИ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Статья посвящена обзору научных разработок, касающихся лишь части большой проблемы – снижения выделений пыли при обработке волокнистых материалов. Несмотря на интенсивное развитие в последние годы текстильной промышленности, проблема выделения пыли на отдельных предприятиях остается и даже усугубляется, особенно при увеличении производительности технологического оборудования и переработке низкосортного сырья. Очистка натурального текстильного волокна от сорных примесей является одной из основных задач процесса приготовления его к прядению. Дана характеристика текстильных пылей. Рассмотрены формы закрепления пыли, характерные для всех видов натуральных волокон. Необходимо учитывать, что 40...60 % всей микропыли (пылинки с размерами 1...10 мкм) сравнительно легко удаляется, 20...30 % микропыли слегка прикреплено к волокнам. Остальные 20...30 % частиц плотно прикреплены к волокнам и могут быть отделены только интенсивным воздействием. Отмечено, что наибольшую вредность представляет пыль с размерами 1...10 мкм. До 95 % частиц льняной пыли имеют размеры 1...5 мкм. Содержание минеральных примесей, в том числе двуокиси кремния, в льняной пыли составляет 9...11 % от ее массы. Льнообрабатывающие машины хуже очищают волокно от сора, чем хлопкообрабатывающие. Обеспыливание волокон как процесс носит многостадийный характер, требующий обработки массы волокон на различных технологических переходах, преимущественно на стадиях рыхления и очистки. Содержание пыли в волокне целесообразно определять на всех технологических переходах. Для уменьшения выделений пыли и одновременного повышения чистоты волокна целесообразно оказывать на него активное воздействие, удаляя большую часть пыли в процессе приготовления сырья к прядению.

Ключевые слова: текстильное предприятие, волокно, сор, пыль, очистка, способы удаления пыли, технологический переход

Для цитирования. Щепочкин А. М., Щепочкина Ю. А. Возможности снижения выделений пыли на текстильных предприятиях // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 28–36. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-28-36>.

Original article

Alexej M. Shchepochkin¹

Julia A. Shchepochkina²

¹ Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russia

² Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology, Ivanovo, Russia

POSSIBILITIES FOR REDUCING DUST EMISSIONS AT TEXTILE ENTERPRISES

© Щепочкин А. М., Щепочкина Ю. А., 2024

Abstract. The article is devoted to a review of scientific developments concerning only part of the major problem of reducing dust emissions during the processing of fibrous materials. Despite the intensive development of the textile industry in recent years, the problem of dust emission at individual enterprises remains and even worsens, especially with an increase in the productivity of technological equipment and the processing of low-grade raw materials. Cleaning of natural textile fibre from weed impurities is one of the main tasks of the process of preparing it for spinning. The characteristic of textile dusts is given. The forms of dust fixation characteristic of all types of natural fibers are considered. It should be borne in mind that 40...60 % of the entire microdust (dust particles with sizes 1...10 microns) are relatively easy to remove, 20...30 % of the microdust are slightly attached to the fibres. The remaining 20...30 % of the particles are tightly attached to the fibres and can only be separated by intense exposure. It is noted that dust with dimensions of 1...10 microns is the most harmful. Up to 95 % of flaxseed dust particles are 1...5 microns in size. The content of mineral impurities, including silicon dioxide, in linseed dust is 9...11 % of its mass. Flax processing machines are worse at cleaning fibre from litter than cotton processing machines. Fibrededusting, as a process, is multi-stage in nature, requiring the processing of a mass of fibres at various technological transitions, mainly at the stages of loosening and cleaning. It is advisable to determine the dust content in the fibre at all technological transitions. To reduce dust emissions and simultaneously increase the purity of the fibre, it is advisable to actively influence it by removing most of the dust during the preparation of raw materials for spinning.

Keywords: textile enterprise, fibre, litter, dust, cleaning, dust extraction methods, technological transition

For citation: Shchepochkin A. M., Shchepochkina Ju. A. Possibilities for reducing dust emissions at textile enterprises. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 28–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-28-36>.

В последние годы перед текстильной промышленностью были поставлены задачи резкого повышения производительности труда, существенного сокращения сроков создания и освоения новой техники, повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Вместе с тем проблема выделения пыли на отдельных текстильных предприятиях остается и даже усугубляется, особенно при увеличении производительности технологического оборудования и переработке низкосортного сырья. Очистка натурального текстильного волокна от сорных примесей является одной из основных задач процесса приготовления его к прядению. Наличие в волокне пыли, как и других сорных примесей, уменьшает его ценность.

Целью данной работы является проведение анализа существующих способов снижения выделений пыли и сора при переработке натуральных волокон на текстильных предприятиях.

Понятия «пыль» и «сор» не имеют четких определений, хотя оба широко используются в текстильном производстве для характеристики загрязнения волокнистого материала [1]. Под засоренностью волокнистого материала понимается количество содержащихся в нем минеральных и органических примесей, причем отмечается, что основной компонент минеральной примеси – пыль [2]. Часть пыли, содержащейся в волокнистом материале, образуется при механическом воздействии (дроблении, истирании) на волокна рабочих органов машин [1, 3, 4], при транспортировке [5].

Наличие в волокне пыли, как и других сорных примесей, ухудшает технологический процесс, способствует образованию пороков в полуфабрикate, а также в пряже и ткани. Пыль, попадая в полуфабрикаты или готовую продукцию, ухудшает их качество. Скопления пыли образуют шишки в ленте и ровнице, удаленный сор начинает зарабатывать в пряжу, что резко увеличивает количество обрывов. Известно, что в группе обрывов, обусловленных технологическими причинами, около 82 % вызвано засоренностью ленты [1]. В этой связи обязательным условием переработки хлопкового волокна низких сортов является его усиленная предварительная очистка до уровня 5...6 % для кольцевого и 3...4 % для пневмомеханического способов прядения. Осаждаясь на машинах, пыль засоряет смазочные отверстия. Кроме того, скопления пыли легко воспламенимы, что повышает пожарную опасность производства.

Текстильные пыли неоднородны не только по своей природе, но и по составу. Состав органических пылей может включать частицы волокон, шелуху, мелкие волоски, грибки, обломки костры, хлопковых коробочек, репья и др. Минеральная пыль состоит из мелких частиц, главным образом, кварца, попавших в волокно при сборе хлопка, стрижке овец, переработке и транспортировке сырья. Частицы пыли могут быть различной формы – шарообразной, пластинчатой, игольчатой и др. Понятие размера частиц пыли вследствие большого разнообразия их форм весьма условно. Обычно к пыли

относят частицы твердых веществ размером от 1 до 150 мкм. Для текстильных предприятий характерна пыль с размером частиц до 100 мкм, причем наибольшее количество составляют частицы размером до 10 мкм [6]. По другим данным, под пылью понимают частицы волокон размером до 15 мкм [7].

Присутствующая в волокнистом материале пыль характеризуется тремя формами закрепления: свободная (несвязанная), слабо связанная с волокнами и прочно сцепленная с волокнами [8]. Эти формы закрепления пыли характерны для всех видов натуральных текстильных волокон. Интерес представляет классификация хлопковой микропыли [9].

Известно, что 40...60% всей микропыли сравнительно легко удаляется, 20...30% микропыли слегка прикреплено к волокну. Эту пыль можно удалить только при разъединении пучков на отдельные волокна. Остальные 20...30% частиц плотно прикреплены к волокнам и могут быть отделены только интенсивным воздействием, например, трением в гребенных полях ленточных машин. Отметим, что подобные закономерности в отношении волокон лубяных культур не выявлены [10–12]. Характер связей между частицами пыли и волокнами полностью не выяснен. Известно, что частицы пыли удерживаются на волокнах за счет механических, электрических и молекулярных связей [13, 14]. Удерживанию пылевых частиц на волокнах способствуют содержащиеся в составе пыли жиры и воски [15, 16]. Экспериментальными методами установлено, что сильнее удерживаются на волокне пылевые частицы с небольшими (порядка 10 мкм) размерами, особенно мягкие – плоские и игольчатые [13, 17].

Очень важной гигиенической характеристикой пыли является ее дисперсность. Хлопковая пыль характеризуется размером частиц от 0,2 мкм до 2 мм, причем дисперсность пыли мало зависит от сорта перерабатываемого хлопка [1]. Наибольшую вредность представляет пыль с размерами 1...10 мкм [9]. Установлено, например, что заболеваемость биссинозом вызывается частицами пыли размером 1...5 мкм [18]. Исследованию льняной пыли посвящено сравнительно небольшое количество работ. Ранее считалось, что льняная пыль крупнее хлопковой и поэтому менее вредна [19]. Более поздними исследованиями установлено, что до 95% частиц льняной пыли имеют размеры 1...5 мкм [20–22]. В льняной пыли обнаружены минеральные примеси, составляющие 9...11% от массы пыли, в том числе двуокись кремния (1–9% от массы пыли) [21].

На рисунке 1 представлено короткое льноволокно, на рисунке 2 – извлеченные из него сорные примеси.

Сведения об очистке льняного волокна от пыли технологическим оборудованием являются неупорядоченными. Например, известна попытка сравнения содержания пыли в партиях льняного волокна, обработанного различными способами [23]. Отмечается, что льнообработывающие машины хуже очищают волокно от сора, чем хлопкообработывающие [24]. Обеспыливание волокон как процесс носит многостадийный характер, требующий обработки массы волокон на различных технологических переходах, преимущественно на стадиях рыхления и очистки. По имеющимся данным, содержание пыли в волокне целесообразно определять на всех технологических переходах [25–27].

При рассмотрении разнообразных способов борьбы с пылью можно выделить несколько тенденций.

Одна из них – укрепление связей между пылинками и волокном, что достигается эмульсированием [28], замасливанием волокна [29], увлажнением воздуха [19, 30–32] и увлажнением самого волокна [33, 34]. Естественно, что в дальнейшем технологическом процессе обработки волокна, например в ткачестве, будет наблюдаться увеличение выделений пыли. Отметим, что в хлопковом волокне присутствует пыль, органически не связанная с волокном, она может быть отделена и удалена даже при рыхлении. Льняная пыль появляется при дроблении волокна за счет измельчения соединительных тканей. Этот процесс продолжается до стадии прядения. В этом случае внесение замасливателя при разрыхлении льняного волокна не окажет влияния на выделение пыли на последующих технологических стадиях переработки волокна. Необходимо также отметить ухудшение качества пряжи, получаемой из увлажненной ленты [33].

Другое направление – удаление пыли, выделяющейся в процессе обработки волокна, технологическим оборудованием [35–38]. Это наиболее распространенный способ борьбы с пылью, осуществляемый преимущественно с помощью встроенных в оборудование аспирационных устройств. Однако аспирационные устройства не во всех случаях обеспечивают снижение запыленности воздуха до нормированных величин. Повышение их мощности с увеличением производительности оборудования, как правило, мало сказывается на эффективности. Даже на льнопредприятиях, оснащенных современным оборудованием, аспирационные и вентиляционные установки не всегда мо-

гут обеспечить поддержание запыленности воздуха на уровне предельно допустимой концентрации. Вместе с тем применение средств аэродинамики благоприятно сказывается на техно-

логическом процессе обработки волокна, в том числе процессе его очистки от непрядомых примесей, включая пыль.

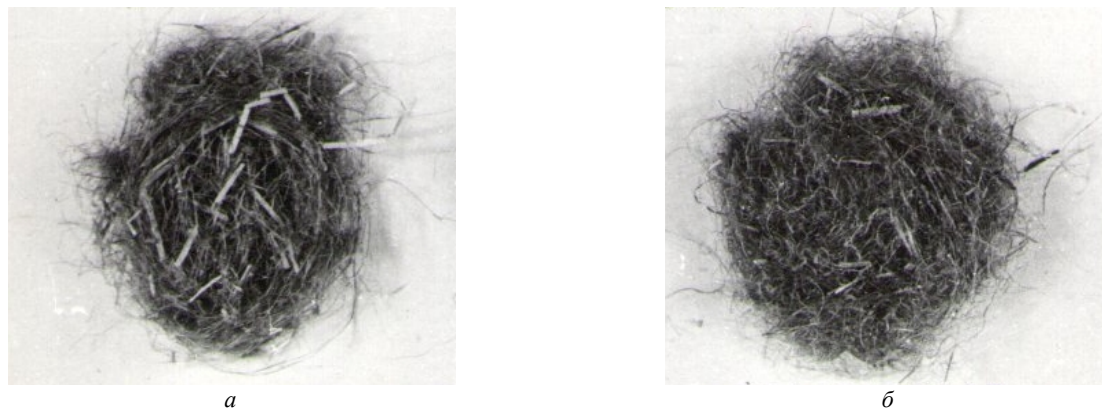


Рис. 1. Короткое льноволокно:
a – не очищенное; *б* – очищенное вручную (волокно 72,4 %; костра 25,4 %; пыль 2,2 %)

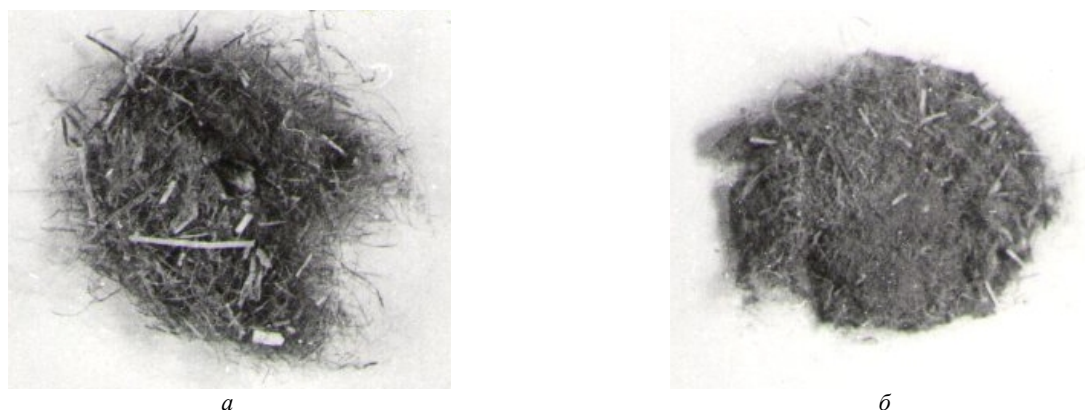


Рис. 2. Сорные примеси, извлеченные при очистке льноволокна вручную:
a – непрядомые волокна, костра; *б* – пыль органическая и минеральная

Третья тенденция – ослабление связей между пылинками и волокном [39], выделение и удаление пыли. Это достигается, например, за счет инерционного отрыва пылевых частиц от волокон, при трении волокна по волокну или волокна по металлу. Силы инерции и трения используются в текстильной практике для очистки волокна механическим способом, например, при трясении, чесании, вытягивании льняного волокна [40–42]. Однако, например, снижение содержания сорных примесей в результате трясения льняного короткого волокна составляет всего 0,5...5 % [33]. Эффективная очистка волокна за счет применения механических воздействий ограничена повреждаемостью волокон. Другим способом нарушения связей между сорными частицами, в том числе пылевыми, и волокном является химическая обработка волокнистой массы перед технологическим процессом приготовления к прядению. При воздействии жидких химических сред происходит от-

деление от волокон покровных и соединительных тканей, образующих впоследствии пыль, вымывание сорных примесей [43, 44]. Способ требует наличия технологического оборудования для варки (раствор хлорида натрия и др.) и сушки волокна, а также дополнительных производственных площадей для размещения такого оборудования. После предварительной отварки льняного короткого волокна запыленность воздуха на последующих стадиях технологического процесса снижается в 2...5 раз [33]. При этом освобождение текстильных волокон от загрязнений проводится в основном в достаточно жестких условиях (высокая температура, химические реагенты), что может повлечь деструкцию волокнообразующего полимера. В последнее время проводятся исследования возможности применения биохимических способов освобождения целлюлозных волокон от загрязнений. Кроме того, отмечено, что современная ферментная обработка хлопчатобумажной пря-

жи способствует ее дополнительному упрочнению в среднем на 30 % [44].

Заслуживает внимания способ удаления пыли из волокна с помощью устройств, создающих электрическое поле и заряд на пылевых частицах [45]. Известно о возможности нарушения связей между частицами пыли и волокном с помощью акустических сигналов [45]. Эти способы удаления пыли, предложенные достаточно давно, безусловно, интересны с научной точки зрения. Процессы, протекающие с частицами пыли в электрическом поле, изучены мало. Возможно, что удаление пыли из волокна с помощью устройств, создающих электрическое поле, окажется эффективным. Вместе с тем подобные исследования обоснованно сдерживаются потенциальной опасностью применения

этого способа в производственных условиях. Что касается акустических сигналов, то эффективность удаления пыли из волокнистого материала будет зависеть прежде всего от их мощности и при больших объемах сырья в производственных условиях этот метод явно будет не рациональным.

Из анализа приведенных способов борьбы с пылью на текстильных предприятиях следует, что для уменьшения выделений пыли и одновременно повышения чистоты волокна наиболее рационально оказывать на него активное воздействие, удаляя большую часть пыли в процессе приготовления к прядению. Целесообразно также обратить внимание на химические и биохимические способы освобождения натуральных текстильных волокон от пыли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Щепочкин А. М. Текстильная пыль в технологии хлопка, льна, шерсти. Иваново : ИГТА, 2004. 168 с.
2. Исследование количественного и качественного содержания сорных примесей в хлопке-сырце для различных селекций хлопка в зависимости от районов произрастания / Р. Т. Калдыбаев, Р. С. Ташменов, Ш. Юсупов, Г. Ю. Калдыбаева, С. Н. Косынбеков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 3. С. 89–94.
3. Разработка методики определения количества волокнистых отходов хлопка при его переработке / Р. Т. Калдыбаев, С. Б. Байжанова, Г. Ю. Калдыбаева, А. А. Турганбаева // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 6. С. 66–69.
4. Росулов Р. Х. Влияние жесткости крепления колков очистителя хлопка-сырца на очистительный эффект // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 119–122.
5. Мурадов Р. Сохранение качественных показателей хлопка-сырца в процессе пневмотранспортирования // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2000. № 6. С. 15–17.
6. Андросов В. Ф., Кленов В. Б., Роскин Е. С. Текстильные фильтры. М. : Легкая индустрия, 1977. 168 с.
7. Stüble H. Entstäubung, filterierung und automatische Abgangsentsorgung im Spiennenreivorwerk // Textile Praxis. 1985. Bd. 40. No. 5. S. 479–484.
8. Движение сорных примесей, пуха и волокон в узле приемного барабана кардочесальной машины / Г. Н. Горьков, С. Д. Белоголовцев, А. А. Виноградов, А. Г. Горькова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. № 6. С. 33–36.
9. Tamas H. Dust removal from fibres and in rooms for Rotor spinning mills // Internationale Textile Bulletin Spinning. 1977. No. 3. P. 372–376.
10. Пылевыведения при обработке льняного короткого волокна / Д. В. Брио, Ю. А. Осипов, А. П. Разумова, Л. Н. Калинникова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1980. № 4. С. 100–102.
11. Исследование процесса обеспыливания льняного короткого волокна пневмомеханическим способом / Д. В. Брио, Ю. А. Осипов, А. П. Разумова, Л. Н. Калинникова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1980. № 5. С. 81–84.
12. Эффективность различных способов обеспыливания льняного короткого волокна / Д. В. Брио, Ю. А. Осипов, А. П. Разумова, Л. Н. Калинникова // Текстильная промышленность. 1980. № 11. С. 40–41.
13. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М. : Изд-во АН СССР, 1965. 352 с.
14. Löffler F. Über die Haftung von Staubteilchen an Faser und Tielshenoberflächen // Staub, Reinhaltung der Luft, 1968. Bd. 28. Nr. 11. S. 456–462.
15. Соболев М. А. Химия льна и лубоволокнистых материалов. М. : Гизлегпром, 1963. 144 с.
16. Naarding W. Newartiges verfahren zur Enifernung von Microstaub aus Baumwolle – Imbesonder für die Roter-Verspinning // Melliland Textilberichte. 1976. Nr. 8. S. 605–613.
17. Кесвелл Р. Текстильные волокна, пряжа и ткани. М. : Ростехиздат, 1960. 564 с.

18. Mellion L. Byssinosis in the textile industry // *Internationale Textile Bulletin Spinning*. 1977. No. 3. P. 393–398.
19. Пахомычев А. И. Борьба с пылью в текстильных предприятиях. М. : Гизлегпром, 1940. 169 с.
20. Клойзнер И. М. Пылевой и шумовой факторы в льняной промышленности // *Гигиена, физиология, научная организация и охрана труда в текстильной промышленности : материалы Всесоюз. науч.-практ. конф. Иваново, 1967. С. 47–49.*
21. Шумарина Н. И. Пылевой фактор и профилактические противопылевые меры на предприятиях, производящих и перерабатывающих хлопковые и льняные волокна : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1968. 21 с.
22. Сорокин Н. С. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. М. : Легкая индустрия, 1974. 328 с.
23. Кузнецова А. И., Горбунова А. Г., Трегубов А. Н. Снижение запыленности воздуха при обработке беленого волокна // *Текстильная промышленность*. 1976. № 2. С. 4.
24. Трыков П. А. Снижение обрывности – важнейшая задача // *Текстильная промышленность*. 1949. № 8. С. 11–13.
25. Naarding W. Feinstaubentfernung aus der Baumwolle. Forschung und neuentwicklungen im Textilmaschinenbau // *Melliand Textilberichte*. 1978. No. 5. S. 373–376.
26. Willi-Reto E. Microstaub, problematische des OE-Spinners: Fragen des OE-Spinners an seine Lieferanten und Pasther // *Melliand Textilberichte*. 1978. Nr. 5. S. 355–358.
27. Куликова З. И., Павлов Г. Г. Механизация процессов пылеудаления в хлопчатобумажном производстве. М. : Легпромбытиздат, 1985. 128 с.
28. Гинзбург Л. Н. Прядение лубяных и химических волокон и производство крученых изделий. М. : Легкая индустрия, 1971. 544 с.
29. Perkiss H., Cocke J. Dust control additives for cotton and cotton / Polyester blends // *Textile Research Institute*. 1979. No. 3. P. 131–136.
30. Изгородин А. К., Никитина С. А. Локальное доувлажнение хлопка и его смесей в пневмопрядении // *Проблемы развития малоотходных ресурсосберегающих экологически чистых технологий в текстильной и легкой промышленности : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 1994. С. 10.*
31. Щепочкин А. М., Гарасько Е. В., Аржакова Т. И. О влиянии увлажнения волокна на запыленность и бактериальную загрязненность воздуха в льнопрядильном производстве // *Гигиена и санитария*. 1976. № 4. С. 106–108.
32. Baur K., Rehn K. Staubverhütung in der Doppeldraht-zwirnerei // *Textile-Proxis*. 1966. Bd. 21. Nr. 10. S. 713–716.
33. Брио Д. В. Очистка волокна от пыли в оческо-приготовительном производстве льнопредприятий : дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 1981. 208 с.
34. Парпиев А. П., Усманов Х. С., Хусанова Н. А. Основы увлажнения хлопка и хлопкового волокна // *Unirersum: технические науки: электрон. науч. журн.* 2023. № 8(113). URL: <https://unirersum.com/ru/tech/archive/item/15853> (дата обращения: 08.06.2024).
35. Павлов К. Ю. Разработка технологии очистки и формирования полуфабрикатов и пряжи в пневмопрядении : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Иваново, 2011. 39 с.
36. Анализ эффективности зоны очистки хлопка на мобильной технике / А. П. Парпиев, Х. Н. Пардаев, Х. С. Усманов, Ж. Ш. Мардонов, А. Ш. Ашваров // *Unirersum: технические науки: электрон. науч. журн.* 2021. № 6(87). URL: <https://unirersum.com/ru/tech/archive/item/12016> (дата обращения: 08.06.2024).
37. Щепочкин А. М., Щепочкина Ю. А. Санитарно-гигиеническая характеристика воздушной среды льнозаводов // *Технологии и качество*. 2023. № 2. С. 15–19.
38. Щепочкин А. М., Щепочкина Ю. А. О состоянии льноводства Ивановской области // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2023. № 4. С. 24–28.
39. Корабельников Р. В., Корабельников А. Р., Лебедев Д. А. Условия перемещения сорных частиц в волокнистой массе // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2010. № 4. С. 24–28.
40. Марков В. В. Первичная обработка лубяных волокон. М. : Легкая индустрия, 1974. 416 с.
41. Джураев А. Д., Ташпулатов Д. С., Плеханов А. Ф. Обоснование выбора параметров колосников на упругих опорах очистителя волокнистой массы хлопка-сырца // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. № 3. С. 80–86.
42. Funder A. Liene nein Mischungspartler für Chemie fasern // *Mitten*. 1973. Nr. 9. S. 304–307.

43. Ясинская Н. Н., Скобова Н. В., Котко К. А. Применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию // Вестник ВГТУ. 2018. Вып. 2. С. 104–111.
44. Ленько К. А., Ясинская Н. Н., Скобова Н. В. Ферментивная подготовка хлопчатобумажной пряжи препаратами целлюлолитического действия // Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь : материалы Междунар. науч.-практ. симпозиума. Витебск, 2020. С. 52–55.
45. Krause H. W. Limits of mashine designe in the fibre spinning // Internationale Textile Bulletin Spinning. 1977. No. 3. P. 269–284.

REFERENCES

1. Shchepochkin A. M. Textile dust in the technology of cotton, linen, wool*. Ivanovo, IGTA Publ., 2004. 168 p. (In Russ.)
2. Kaldybaev R. T., Tashmenov R. S., Yusupov Sh., Kaldybaeva G. Yu., Kosynbekov S. N. Quantitative and qualitative research of content trash in raw cotton for different cotton selection depending on the growth area. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2016;3:89–94. (In Russ.)
3. Kaldybaev R. T., Baizhanova S. B., Kaldybaeva G. Yu., Turganbayeva A. A. Development of the methods of determination of cotton fibrous waste quantity during its processing. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2013;6:66–69. (In Russ.)
4. Rosulov R. Kh. Influence of stiffness fixation pegs cleaner for raw cotton on cleaning effect. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2017;1:119–122. (In Russ.)
5. Muradov R. Preservation of quality indicators of raw cotton in the process of pneumatic transportation*. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2000;6:15–17. (In Russ.)
6. Androssov V. F., Klenov V. B., Roskin E. S. Textile filters. Moscow, Light industry Publ., 1977. 168 p. (In Russ.)
7. Stüble H. Entstaubung, filterierung und automatische Abgangentsorgung im Spiennenreivorwerk. *Textile Praxis*. 1985;40,5:479–484.
8. Gorkov G. N., Belogolovtsev S. D., Vinogradov A. A., Gorkova A. G. Movement of weed impurities, fluff and fibers in the node of the receiving drum of the carding machine*. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2005;6:33–36. (In Russ.)
9. Tamas H. Dust removal from fibres and in rooms for Rotor spinning mills. *Internationale Textile Bulletin Spinning*. 1977;3:372–376.
10. Brio D. V., Osipov Yu. A., Razumova A. P., Kalinnikova L. N. Dust emissions during processing of short flax fiber*. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 1980;4:100–102. (In Russ.)
11. Brio D. V., Osipov Yu. A., Razumova A. P., Kalinnikova L. N. Investigation of the process of dedusting flax short fiber by pneumomechanical method*. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 1980;5:81–84. (In Russ.)
12. Brio D. V., Osipov Yu. A., Razumova A. P., Kalinnikova L. N. The effectiveness of various methods of dedusting flax short fiber*. *Tekstil'naya promyshlennost'* [Textile industry]. 1980;11:40–41. (In Russ.)
13. Fuchs N. A. Mechanics of aerosols*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1965. 352 p. (In Russ.)
14. Löffler F. Über die Haftung von Staubteilichen an Faser und Tielshenoberflächen. *Staub, Reinhaltung der Luft*. 1968;28,11:456–462.
15. Sobolev M. A. Chemistry of flax and bast fiber materials*. Moscow, Gizlegprom Publ., 1963. 144 p. (In Russ.)

* Перевод названия источника выполнен авторами статьи / Translated by author's of the article

16. Naarding W. Newartiges verfahren zur Enifernung von Microstaub aus Baumwolle – Imbesonder für die Roter-Verspinning. *Melliand Textilberichte*. 1976;8:605–613.
17. Keswell R. Textile fibers, yarns and fabrics*. Moscow, Rostekhizdat Publ., 1960. 564 p. (In Russ.)
18. Mellion L. Byssinosis in the textile industry. *Internationale Textile Bulletin Spinning*. 1977;3:393–398.
19. Pakhomychev A. I. Dust control in textile enterprises*. Moscow, Gizlegprom Publ., 1940. 169 p. (In Russ.)
20. Kloisner I. M. Dust and noise factors in the linen industry*. *Gigiena, fiziologiya, nauchnaya organizatsiya i ohrana truda v tekstil'noj promyshlennosti : materialy Vsesoyuz. Nauchno-prakt. konf.* [Hygiene, physiology, scientific organization and occupational safety in the textile industry]. Ivanovo, 1967. P. 47–49. (In Russ.)
21. Shumarina N. I. Dust factor and preventive anti-dust measures at enterprises producing and processing cotton and linen fibers*: abstract. ... cand. of biol. sciences diss. Moscow, 1968. 21 p. (In Russ.)
22. Sorokin N. S. Ventilation, heating and air conditioning in textile enterprises*. Moscow, Light industry Publ., 1974. 328 p. (In Russ.)
23. Kuznetsova A. I., Gorbunova A. G., Tregubov A. N. Reduction of air dustiness during the processing of bleached fiber*. *Tekstil'naya promyshlennost'* [Textile industry]. 1976;2:4. (In Russ.)
24. Trykov P. A. Reducing breakage is the most important task*. *Tekstil'naya promyshlennost'* [Textile industry]. 1949;8:11–13. (In Russ.)
25. Naarding W. Feinstaubentfernung aus der Baumwolle. *Forschung und neuenwicklungen im Textilmaschinenbau. Melliand Textilberichte*. 1978;5:373–376.
26. Willi-Reto E. Microstaub, problematic des OE-Spinners: Fragen des OE-Spinners an seine Lieferanten und Paster. *Melliand Textilberichte*. 1978;5:355–358.
27. Kulikova Z. I., Pavlov G. G. Mechanization of dust removal processes in cotton production*. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1985. 128 p. (In Russ.)
28. Ginzburg L. N. Spinning of bast and chemical fibers and production of twisted products*. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1971. 544 p. (In Russ.)
29. Perkiss H., Cocke J. Dust control additives for cotton and cotton / Polyester blends. *Textile Research Institute*. 1979;3:131–136.
30. Izgorodin A. K., Nikitina S. A. Local waterlogging of cotton and its mixtures in pneumatic spinning*. *Problemy razvitiya malooodnykh resursosberegayushchih ekologicheskikh chistyykh tekhnologiy v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Problems of development of low-waste resource-saving environmentally friendly technologies in textile and light industry]. Ivanovo, 1994. P. 10. (In Russ.)
31. Shchepochkin A. M., Garasko E. V., Arzhakova T. I. On the effect of fiber humidification on dustiness and bacterial air pollution in flax spinning production*. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 1976;4:106–108. (In Russ.)
32. Baur K., Rehn K. Staubverhütung in der Doppeldraht-zwirnerei. *Textile-Proxis*. 1966; 21,10:713–716.
33. Brio D. V. Cleaning of fiber from dust in the organic and preparatory production of flax enterprises* : dis. ... cand. of technical sciences. Kostroma, 1981. 208 p. (In Russ.)
34. Parpiev A. P., Usmanov H. S., Khusainova N. A. Basics of moisturizing cotton and cotton fiber. *Univer-sum: technical sciences: electron. scientific journal*. 2023;8(113). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15853> (accessed 06.08.2024). (In Russ.)
35. Pavlov K. Yu. Development of technology for cleaning and forming semi-finished products and yarn in pneumatic spinning*: abstract Dr. eng. sci. diss. Ivanovo, 2011. 39 p. (In Russ.)
36. Parpiev A. P., Pardaev H. N., Usmanov H. S., Mardanov J. S., Avsharov A. S. Analysis of the efficiency of the cotton cleaning area on mobile equipment. *Unirersum: technical sciences: electron. scientific journal*. 2021;6(87). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12016> (accessed 06.08.2024). (In Russ.)
37. Shchepochkin A. M., Shchepochkina Yu. A. Sanitary and hygienic characteristics of the air environment at flax plants. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;2:15–19. (In Russ.)
38. Shchepochkin A. M., Shchepochkina Yu. A. On the state of flax growing in the Ivanovo region. *Agrarnyy vestnik Verhnevolzh'ya* [Agrarian Bulletin of the Upper Volga region]. 2023;4:24–28. (In Russ.)
39. Korabelnikov R. V., Korabelnikov A. R., Lebedev D. A. Conditions for the movement of weed particles in a fibrous mass*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2010;4:24–28. (In Russ.)

40. Markov V. V. Primary processing of bast fibers. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1974. 416 p. (In Russ.)
41. Dzhuraev A. D., Tashpulatov D. S., Plekhanov A. F. Justification for selection of parameters of bars on elastic supports of raw cotton pulp cleaner. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2019;3:80–86. (In Russ.)
42. Funder A. Lienen ein Mischungspartler für Chemiefasern. *Mitten*. 1973;9:304–307.
43. Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Kotko K. A. The use of pectinolytic enzyme preparations for the preparation of linen materials for dyeing. *Vestnik VSTU* [Bulletin of Vitebsk State Technological University]. 2018;2:104–111. (In Russ.)
44. Lenko K. A., Yasinskaya N. N., Skobova N. V. Enzymatic preparation of cotton yarn with preparations of cellulolytic action*. *Progressivnye tekhnologii i oborudovanie: tekstil', odevzha, obuv' : mater. mezhdunar. nauchno-prakt. simpoziuma* [Progressive technologies and equipment: textiles, clothing, shoes]. Vitebsk, 2020. P. 52–55. (In Russ.)
45. Krause H. W. Limits of mashine designe in the fibre spinning. *Internationale Textile Bulletin Spinning*. 1977;3:269–284.

Статья поступила в редакцию 21.08.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 677.026

EDN VPLMTK

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-37-41>

Альбина Альбертовна Азанова¹

Резеда Рашидовна Мустафина²

Екатерина Юрьевна Гаврилюк³

^{1,2,3} Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

AzanovaAA@corp.knrntu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3995-0009>

MustafinaRR@corp.knrntu.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2745-3338>

GavrilyukEYu@corp.knrntu.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0692-8158>

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОРЕЗИНЕННЫХ ТКАНЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрен метод переработки межлекальных отходов прорезиненных тканей в композиционный материал за счет измельчения отходов и скрепления полученной крошки полимерными связующими. Проработаны рецептуры, получены образцы, проведены испытания физико-механических свойств. Показано, что изменение размеров крошки, ее пропорции со связующим влияет на характеристики образцов. Коэффициент вариации по толщине составил от 4 до 20%, стойкость к истиранию 1,6...4,8 тысяч циклов по потере 0,1 мм толщины, коэффициент тангенциального сопротивления при трении металлическим брусом от 0,51 до 0,60. Устойчивость к многократному изгибу не менее 60 тыс. циклов. Композиционные материалы устойчивы к замачиванию – не набухают и не теряют прочность. Полученные материалы могут использоваться для производства противоскользящих покрытий и других изделий.

Ключевые слова: отходы, прорезиненные ткани, композиционный материал, измельченные отходы, свойства композитов, истирание, физико-механические свойства

Для цитирования. Азанова А. А., Мустафина Р. Р., Гаврилюк Е. Ю. Композиционный материал на основе отходов прорезиненных тканей // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 37–41. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-37-41>.

Original article

Albina A. Azanova¹

Rezeda R. Mustafina²

Ekaterina Yu. Gavrilyuk³

^{1,2,3} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

COMPOSITE MATERIAL BASED ON WASTE RUBBER-PROOFED FABRICS

Abstract. The article considers a method for processing interstitial waste of rubber-proofed fabrics into a composite material by crushing waste and fastening the resulting crumbs with polymer binders. Formulations have been worked out, samples have been obtained, and tests of physical and mechanical properties have been carried out. It is shown that the change in the size of the crumb, its proportions with the binder affects the characteristics of the samples. The coefficient of variation in thickness ranged from 4 to 20%, the loss of 0.1 mm of thickness during abrasion ranged from 1,6 to 4,8 thousand cycles, the coefficient of tangential resistance during friction with a metal bar is from 0.51 to 0.60. The obtained materials can be used for the production of anti-slip coatings and other products.

Keywords: waste, rubber-proofed fabric, composite material, shredded waste, properties of composites, abrasion, physical and mechanical properties

For citation: Azanova A. A., Mustafina R. R., Gavrilyuk E. Yu. Composite material based on waste rubber-proofed fabrics. Technologies & Quality. 2024. No 4(66). P. 37–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-37-41>.

Ежегодный объем потребительских отходов текстиля в России составляет 2,3 млн т [1], включая не менее четырех-пяти тонн отходов прорезиненных тканей от производства средств индивидуальной защиты (СИЗ) без учета объема отходов от изготовления продукции для военно-промышленного комплекса. К тому же существенную проблему представляет утилизация самих СИЗ: отработанные костюмы сначала подвергаются дегазации, затем, как и СИЗ с истекшим сроком годности, хранятся в специальных условиях. Поскольку такие отходы являются 3–5 класса опасности, их утилизация сопровождается существенными издержками. Авторами предлагается метод переработки отходов прорезиненных тканей, который заключается в их измельчении с дальнейшим изготовлением композиционного материала путем холодного прессования.

В качестве объекта исследования использовались межлекальные отходы изолирующего материала ЛТЛ-1-2 производства АО «КазХимНИИ», представляющего собой полиамидную ткань с нанесенной композицией на основе бутилкаучука [2, 3]. Измельчение отходов проводили на роторной ножевой мельнице РМ 120М с использованием двух решеток с размером отверстий 2 и 6 мм. Полученную крошку смешивали со связующим в разных соотношениях и формовали композиционные материалы путем нанесения полученной массы на подложку или

текстильную основу (суровая хлопчатобумажная ткань, 180 г/м²). В качестве связующего использовали полиуретановые композиции российских производителей ООО «ПолиМикс Казань» и НПП «Макромер».

Проработаны разные степени измельчения и соотношения фракций в смеси, соотношения отходов и связующего, возможность нанесения смеси на текстильную основу и варианты без основы (табл. 1). Рассмотрена возможность добавления в смесь пигмента для получения декоративных эффектов [2] (рис. 1).

Полученные материалы испытывали по общепринятым методикам на определение физико-механических показателей и устойчивость к воздействию влаги. Коэффициент тангенциального сопротивления определяли методом наклонной плоскости, в качестве колодки использовали металлический брус массой 230 г [4]. Разрывное напряжение определяли на машине Shimadzu (Япония) серии AGS-X. Устойчивость к многократному изгибу – на основе метода, описанного в ГОСТ 13868–74; стойкость к истиранию – на приборе UGT-7012-S (Китай), в качестве абразива использовали шлифовальный лист J-86 ALO [2, 5]. Результаты испытаний приведены в таблице 2. Испытания на устойчивость к влаге и соленой воде проводились замачиванием образцов в течение 1 ч и измерением массы и потери толщины при абразивном трении.

Т а б л и ц а 1

Состав композиционных материалов

Показатель	Образец					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Связующее	Dis-line 02	Dis-line 02*	Dis-line 02	Аквапол 11	Аквапол 11	Аквапол 11
Размер решетки измельчителя отходов, мм	2	2	2 и 6 (2 : 1)	2	2	2
Текстильная основа	+	+	+	–	+	+
Количество слоев композиционного материала	1	1	1	1	1	2, с обеих сторон основы

Примечание: * – разное соотношение связующего и крошки по сравнению с образцом № 1.

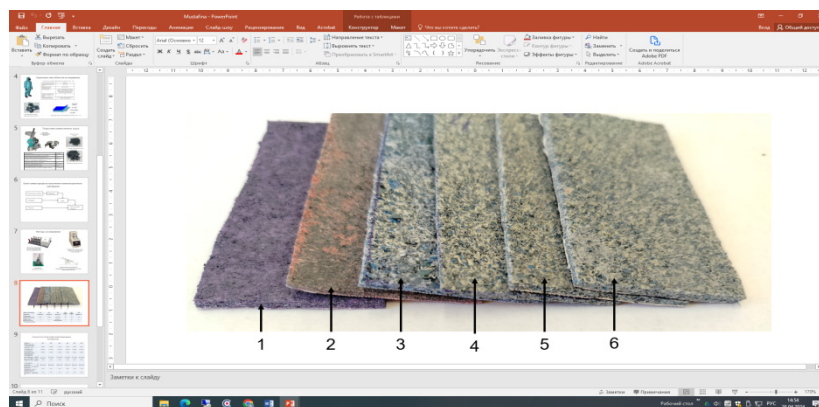


Рис. 1. Внешний вид композиционных материалов на основе отходов прорезиненных тканей

Т а б л и ц а 2

Характеристика композиционных материалов на основе отходов прорезиненных тканей

Показатель	Образец (рецептура)					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Поверхностная плотность, г/м ²	200	158	173	123	190	261
Толщина средняя, мм	3,0	2,7	3,1	1,8	2,9	4,0
Коэффициент вариации по толщине, %	20	7	15	11	9	4
Коэффициент тангенциального сопротивления	0,51	0,49	0,60	0,53	0,49	0,53
Разрывное напряжение, МПа	2,9	4,1	4,4	0,5	2,9	1,8
Устойчивость к многократному изгибу, тыс. циклов, не менее	60	60	60	60	60	60
Количество циклов истирания для потери толщины 0,1 мм, тыс. циклов	3,9	2,5	1,6	5,9	4,4	4,8

Толщина полученных образцов составила от 1,8 до 4,0 мм в зависимости от количества, размеров и соотношения фракций измельченного сырья. Предлагаемый метод позволяет получить материалы с равномерной толщиной с коэффициентом вариации не более 20 %, который зависит от размера измельченного сырья и пропорций связующего и крошки. Коэффициент тангенциального сопротивления поверхности композитов при трении металлическим бруском составил от 0,51 до 0,60, что свидетельствует об их противоскользкой способности и возможности использования в качестве противоскользких покрытий.

Разрывное напряжение образцов с текстильной подложкой в среднем составляет 3,22 МПа. Образец, сформованный без основы, имеет наименьшую прочность при разрыве. Самым высоким значением показателя обладает образец № 3, так как имеет одинаковую пропорцию связующего и резиноканевой крошки, при этом крошка получена с использованием мелкой и крупной решетки. Кроме того, на разрывное напряжение композитов влияет метод изготовления: распределение полученной смеси на текстильную основу с одной стороны (образцы № 1, 2, 3, 5) либо с двух сторон (образец № 6).

Для оценки эксплуатационных характеристик образцов проводилистирание по плоскости абразивом и определяли потерю толщины (рис. 2).

В зависимости от состава, времени и метода прессования процесс потери массы образцов при испытании проходит по-разному. Самая быстрая потеря толщины у образца № 3, поскольку при его изготовлении использовалось сырье, полученное на крупной решетке. При увеличении размеров крошки и уменьшении

содержания связующего истирание происходит интенсивнее.

Для изучения поведения композитов при эксплуатации в уличных условиях образцы подвергались воздействию влаги и соленой воды и дальнейшему испытанию на истирание. Характерные результаты приведены на рис. 3, а и б. Выявлено, что после замачивания материалы не набухают, сохраняют целостность размеров, прочность и внешний вид.

Характер истирания сухих и влажных образцов по потере толщины (и массы) аналогичный. Данный факт свидетельствует об устойчивости полученных материалов к действию влаги и соленых растворов, а значит, изделия из него могут эксплуатироваться на улице.

Очевидно, что решающим фактором при оценке эффективности переработки отходов предлагаемым способом будет себестоимость, которая зависит, в первую очередь, от стоимости связующего и его количества в материалах.

ВЫВОДЫ

1. Предложено направление переработки отходов прорезиненных тканей в композиционные материалы.

2. Проработаны рецептуры и получены образцы композиционных материалов со следующими характеристиками: толщина 1,8 до 4,0 мм, коэффициент вариации по толщине от 4 до 20 %, стойкость к истиранию по потере 0,1 мм толщины в диапазоне 1,6...4,8 тысяч циклов; коэффициент тангенциального сопротивления при трении металлическим бруском от 0,51 до 0,60; устойчивость к многократному изгибу не менее 60 тыс. циклов.

3. Композиционные материалы устойчивы к замачиванию – не набухают и не теряют прочность.

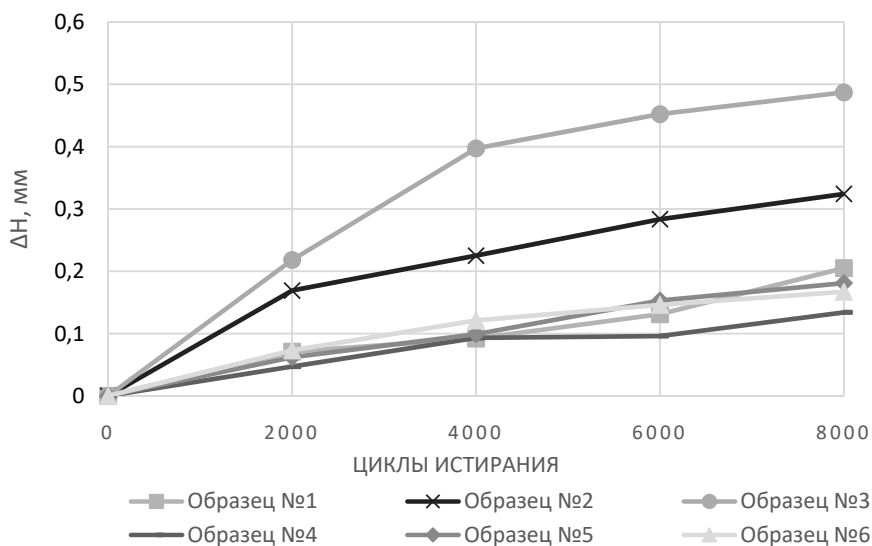


Рис. 2. Динамика потери толщины (ΔH) образцов при истирании

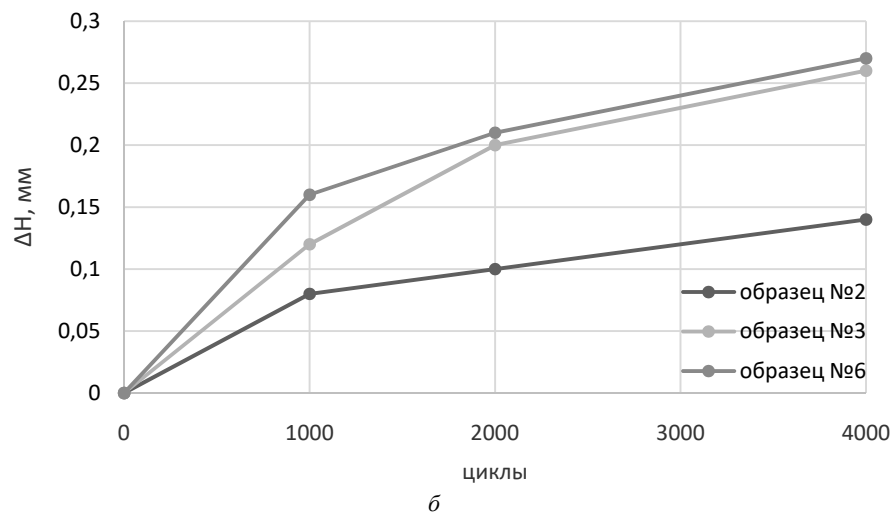
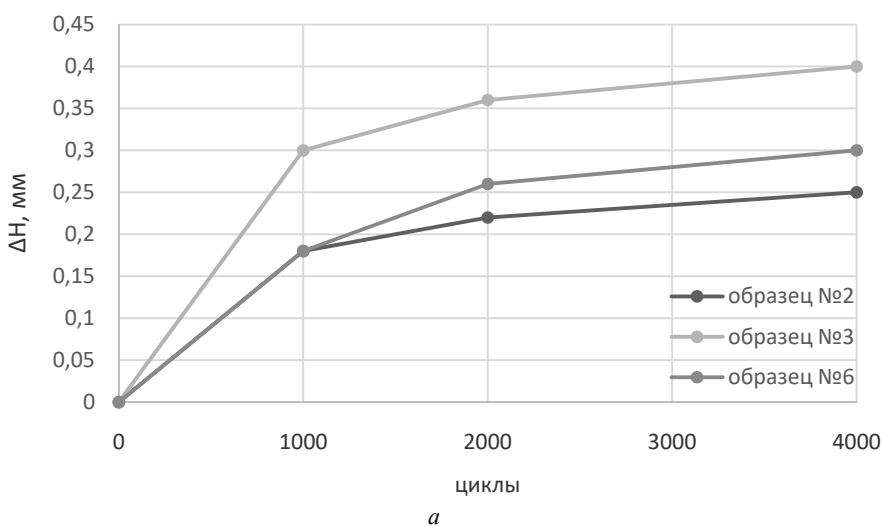


Рис. 3. Динамика потери толщины (ΔH) образцов при истирании после замачивания в воде (а) и соленой воде (б)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. РЭО: на каждого россиянина приходится 16 кг отходов одежды ежегодно // ППК РЭО: Российский экологический оператор : офиц. сайт. URL: <https://reo.ru/news/tpost/ydifkrcas1-reo-na-kazhdogo-rossiyanina-prihoditsya> (дата обращения: 25.07.2024).
2. Отходы производства СИЗК как сырье для получения композиционных материалов / И. А. Гильдеев, Р. Р. Мустафина, А. А. Азанова, А. А. Сухова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2022. № 1. С. 112–114.
3. Сухова А. А., Тарасов Л. А., Абуталипова Л. Н. Многофункциональный композиционный материал ЛТЛ-1-2 // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 21. С. 75–76.
4. Бузов Б. А. Практикум по материаловедению швейного производства : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Академия, 2003. 416 с.
5. ГОСТ 18976–73. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию. Введ. 1.07.74. М., 1973. 7 с.

REFERENCES

1. REO: every Russian has 16 kg of clothing waste annually. PC REO: Russian Environmental Operator : official website. URL: <https://reo.ru/news/tpost/ydifkrcas1-reo-na-kazhdogo-rossiyanina-prihoditsya> (accessed 25.07.2024). (In Russ.)
2. Gildeev I. A., Mustafina R. R., Azanova A. A., Suhova A. A. Waste from the production of ppes as raw materials for the production of composite materials. *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)* [Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX)]. 2022;1:112–114. (In Russ.)
3. Suhova A. A., Tarasov L. A., Abutalipova L. N. Multifunctional composite material LTL-1-2. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2014;17,21:75–76. (In Russ.)
4. Buzov B. A. Workshop on materials science of sewing production. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 416 p. (In Russ.)
5. *GOST 18976–73. Tkani tekstil'nye. Metod opredeleniya stojkosti k istiraniyu ispytaniy* [State Standart 18976–73. Textiles. Method for the determination of wear resistance]. Moscow, 1973. 7 p.

Статья поступила в редакцию 21.08.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 675.04

EDN VXHOBO

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-42-46>

Владислав Александрович Сысоев¹

Ренат Равильевич Назмутдинов²

Альфия Раисовна Гарифуллина³

Тамара Томовна Зинкичева⁴

Марина Николаевна Калукова⁵

^{1,2,3,4,5} Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

¹ Vlad.sisoev2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8876-224X>

² nazmutdi@kstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4827-2649>

³ garalf@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2291-9555>

⁴ ZinkichevaTT@corp.knrtu.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9844-9951>

⁵ vita310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8652-7334>

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССОВ АМИНОЛИЗА НЕСИММЕТРИЧНЫХ АЛКИЛЕНКАРБОНАТОВ

Аннотация. В статье анализируется особенность реакции уретанообразования алкиленкарбонат – амин. Используя квантово-химические расчеты с применением гибридного функционала B3LYP, встроенного в программный пакет Gaussian-16, авторами произведена оценка термодинамической возможности представленных реакции. Полученные при заданных стандартных условиях результаты показали, что взаимодействие несимметричных алкиленкарбонатов с аминами приводит к образованию смеси изомерных уретаноспиртов, содержащих первичные и вторичные гидроксильные группы. Причем соотношения изомеров и термодинамические параметры процессов синтеза существенно зависят от строения аминного компонента. Оценка термодинамической возможности показанных в статье реакций представляет интерес для создания эффективных технологий получения неизоцианатных уретанов. Доказанное строение получаемых уретаносодержащих продуктов предполагает их химическое взаимодействие с активными группами коллагена в технологических процессах обработки кожи и меха.

Ключевые слова: амины, термодинамические реакции, алкиленкарбонаты, уретаноспирты, неизоцианатные уретаны, интенсификация жидкостных процессов, свойства кожи и меха

Для цитирования. Термодинамические аспекты процессов аминолитиза несимметричных алкиленкарбонатов / В. А. Сысоев, Р. Р. Назмутдинов, А. Р. Гарифуллина, Т. Т. Зинкичева, М. Н. Калукова // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 42–46. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-42-46>.

Original article

Vladislav A. Sysoev¹

Renat R. Nazmutdinov²

Alfiya R. Garifullina³

Tamara T. Zinkicheva⁴

Marina N. Kalukova⁵

^{1,2,3,4,5} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

THERMODYNAMIC ASPECTS OF AMINOLYSIS PROCESSES OF UNSYMMETRIC ALKYLENE CARBONATES

Abstract. The article analyzes the peculiarity of the reaction of urethane formation of alkylene carbonate – amine. Using quantum chemical calculations using the B3LYP hybrid functional embedded in the Gaussian-16 software package, the authors evaluated the thermodynamic feasibility of the presented reactions. The results obtained under the specified standard conditions showed that the interaction of asymmetric alkylene carbonates with amines leads to the formation of a mixture of isomeric urethane alcohols containing primary and secondary hydroxyls. Moreover, the ratio of isomers and the thermodynamic parameters of the synthesis

processes significantly depend on the structure of the amine component. An assessment of the thermodynamic possibility of the reactions shown in the article is of interest for the creation of effective technologies for the production of non-isocyanate urethanes. The proven structure of the resulting urethane-containing products suggests their chemical interaction with active groups of collagen in technological processes for processing leather and fur.

Keywords: amines, thermodynamic reactions, alkylene carbonates, urethane alcohols, non-isocyanate urethanes, intensification of liquid processes, properties of leather and fur

For citation: Sysoev V. A., Nazmutdinov R. R., Garifullina A. R., Zinkicheva T. T., Kalukova M. N. Thermodynamic aspects of aminolysis processes of unsymmetric alkylene carbonates. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 42–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-42-46>.

Одним из важнейших факторов технического прогресса в кожевенно-меховой промышленности является обеспечение ее современными химическими материалами для создания качественных и экологически полноценных изделий. Известно, что введение различных модифицирующих добавок в технологические процессы получения кожи и меха способствует интенсификации жидкостных процессов и повышению физико-механических характеристик. В ранее представленных работах [1–3] доказана эффективность применения уретаносодержащих модификаторов в процессах дубления коллагена. Неизоцианатные уретаны способны физически экранировать и химически блокировать основные функциональные группы коллагена, тем самым регулируя диффузионную составляющую процесса дубления и обеспечивая максимальное потребление дубителя кожаной тканью. Однако влияние основных термодинамических параметров на синтез неизоцианатных уретаносодержащих продуктов и их реакционную способность подробно не рассматривалось.

Изучение реакций алкиленкарбонатов с аминами представляет научный и практический интерес, поскольку они лежат в основе получения неизоцианатных моно- и полиуретанов, перспективных для использования в различных отраслях промышленности [4, 5]. Особенностью указанной реакции уретанообразования является то, что при использовании алкиленкарбоната симметричного строения ее продукт представляет собой уретаноспирт с первичным гидро-

ксилом. Поэтому аммонолиз этиленкарбоната можно представить реакцией, изображенной на рисунке 1.

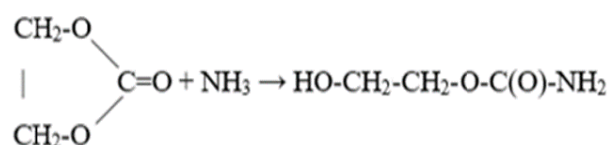


Рис. 1. Взаимодействие этиленгликолькарбоната с аммиаком

Если же в качестве исходного алкиленкарбоната использовать несимметричный 1,2-пропиленгликолькарбонат (ПК), то в зависимости от характера дециклизации возможно образование продуктов как с первичным, так и с вторичным гидроксилом (рис. 2).

Имеющиеся в литературе данные не позволяют однозначно оценить состав образующейся смеси, однако позволяют констатировать, что строение алкиленкарбоната и амина, а также условия реакции существенно влияют на соотношение образующихся изомеров.

Поэтому оценка термодинамической возможности реакции, приведенной на рисунке 2, так и с участием первичных аминов по реакции, приведенной на рисунке 3, представляет интерес для создания эффективных технологий получения неизоцианатных уретанов. В работе в качестве первичного амина был использован этиленамин. Для таких оценок целесообразно использовать методы квантовой и вычислительной химии.

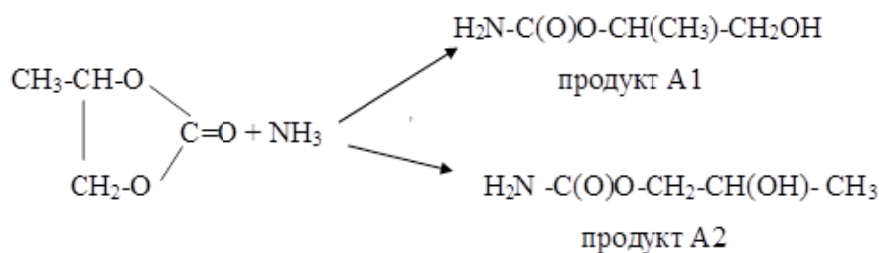


Рис. 2. Взаимодействие 1,2-пропиленгликолькарбоната с аммиаком (процесс А)

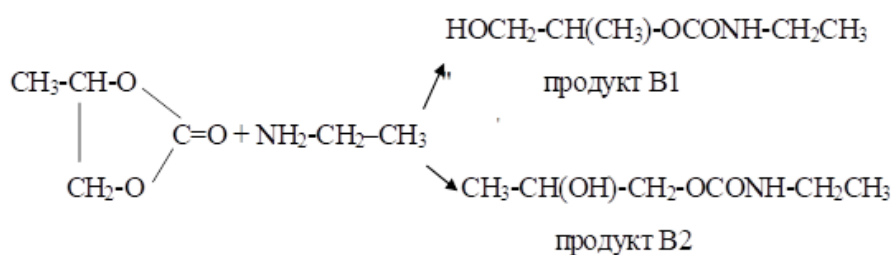


Рис. 3. Реакция 1,2-пропиленгликолькарбоната с этиламином (процесс В)

Квантово-химические расчеты проводились в рамках теории функционала плотности (Density Functional Theory, DFT) с использованием гибридного функционала B3LYP, встроенного в программный пакет Gaussian-16 [6]. Для всех атомов применялся стандартный трижды расщепленный базис 6-311++g (d, p), дополненный поляризационными орбиталями [7]. Оптимизация геометрии проводилась без ограничений по симметрии. В расчетах энтальпии и энергии Гиббса учитывался вклад от всех колебательных мод. Визуализация геометрии молекулы проводилась с помощью пакета Chemcraft

[8]. На данном этапе моделирования эффекты растворителя не учитывались.

Взаимодействие ПК (рис. 4, а) с молекулой аммиака (NH_3) (рис. 4, б) приводит к образованию двух изомеров: продукт А1 (рис. 5, а) и продукт А2 (рис. 5, б) по реакции, представленной на рисунке 2.

Константа равновесия K реакции перехода одной изомерной формы в другую (продукт А1 \rightleftharpoons продукт А2), рассчитанная при $T = 298 \text{ }^\circ\text{K}$ по уравнению $K = \exp[-\Delta G/RT]$, составляет $\approx 1,24$ (в равновесной смеси продукта А2 примерно на 25 % больше).

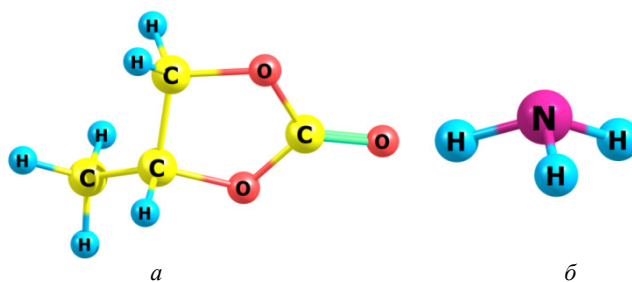


Рис. 4. Оптимизированные структуры: а – ПК; б – аммиак NH_3

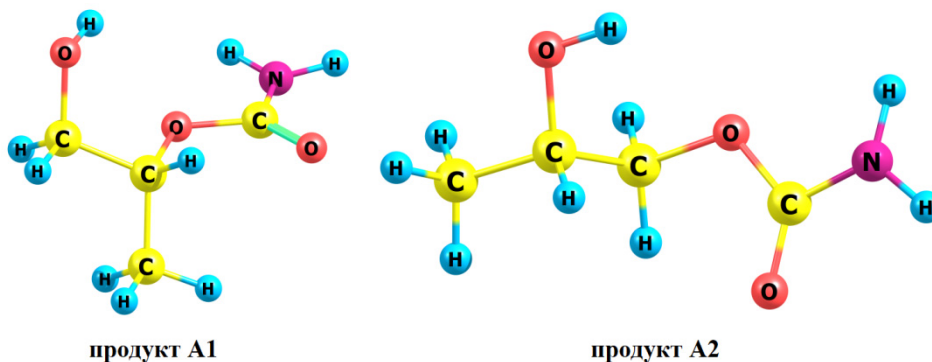


Рис. 5. Оптимизированные структуры изомеров, полученных по реакции, представленной на рисунке 2

Таблица 1

Тепловой эффект (ΔH , ккал/моль), изменение энтропии (ΔS , кал/(К·моль)) и изменение энергии Гиббса (ΔG , ккал/моль) реакции образования продукта А1 и продукта А2

Продукты процесса А	ΔH , ккал/моль	ΔS , кал/(К·моль)	ΔG , ккал/моль
А1	+5,26	+16,80	+0,250
А2	+4,96	+16,24	+0,125

Взаимодействие ПК (рис. 6, *a*) и этиламина (рис. 6, *б*) приводит к образованию двух изомеров: продукт В1 (рис. 7, *a*) и продукт В2 (рис. 7, *б*).

Константа равновесия K реакции перехода одной изомерной формы в другую (продукт В1 \rightleftharpoons продукт В2), рассчитанная при $T=298$ °К по уравнению $K = \exp[-\Delta G/RT]$, составляет $\approx 4,11$ (в равновесной смеси продукта В2 в несколько раз больше).

ВЫВОДЫ

Полученные при заданных стандартных условиях результаты показали, что взаимодействие несимметричных алкиленкарбонатов с аминами приводит к образованию смеси изомерных уретаноспиртов, содержащих первичные и вторичные гидроксилы. Причем соотношение изомеров и термодинамические параметры процессов синтеза существенно зависят от строения аминного компонента.

Процесс А (см. рис. 1) характеризуется положительным изменением энтальпии (табл. 2),

однако существенное влияние энтропийного фактора приводит к незначительному изменению энергии Гиббса. Это оставляет возможность успешного проведения указанной реакции при изменении ее кинетических характеристик.

Применение этиленамина вместо аммиака (см. рис. 3, табл. 2) приводит к получению отрицательных значений ΔG , что определяет большую вероятность процесса В, по сравнению с процессом А.

Процесс А – эндотермический с положительной энтропией системы, а процесс В – экзотермический с отрицательной энтропией. Это приводит к различной температурной зависимости энергии Гиббса этих процессов.

В процессе А в равновесной смеси изомеров при комнатной температуре несколько преобладает продукт А2, а в процессе В продукта В2 больше существенно. Это определяет существенную зависимость этого параметра от строения исходных компонентов и условий проведения реакции.

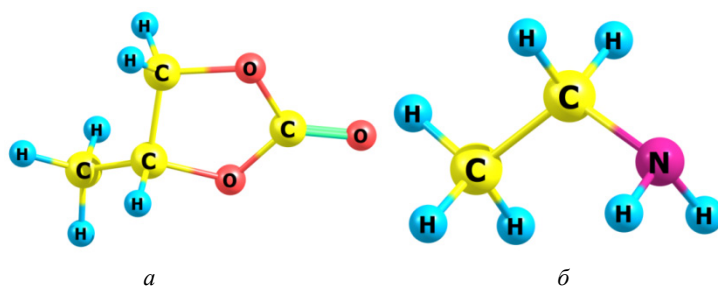


Рис. 6. Оптимизированные структуры: *a* – ПК; *б* – молекула этиламина $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$

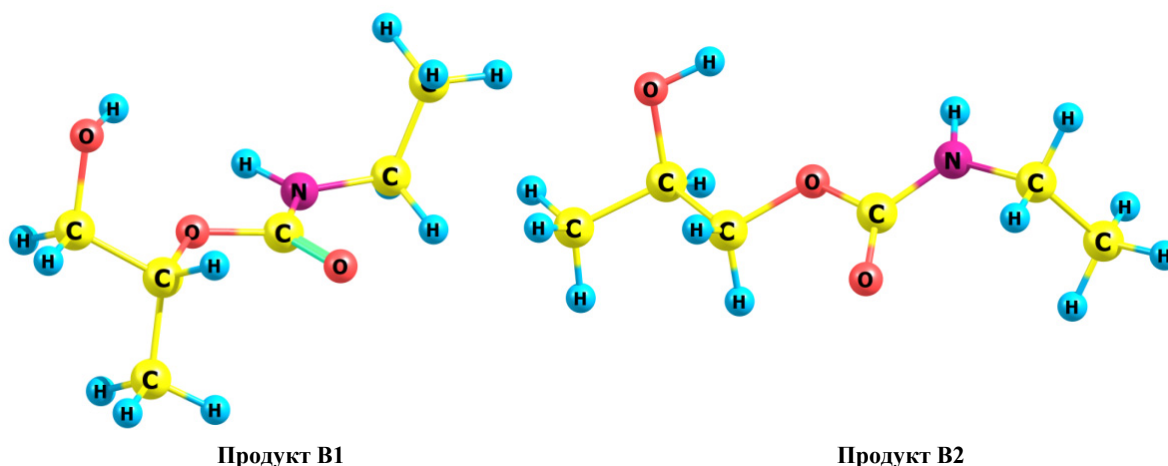


Рис. 7. Оптимизированные структуры изомеров, полученных по реакции, представленной на рисунке 3

Т а б л и ц а 2

Тепловой эффект (ΔH , ккал/моль), изменение энтропии (ΔS , кал/(К·моль)) и изменение энергии Гиббса (ΔG , ккал/моль) для реакции образования продукта В1 и продукта В2

Продукты процесса В	ΔH , ккал/моль	ΔS , кал/(К·моль)	ΔG , ккал/моль
В2	-12,19	-31,9	-2,95
В1	-11,93	-32,9	-2,13

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калукова М. Н., Сысоев В. А., Гарифуллина А. Р. Влияние гидроксилсодержащих низкомолекулярных уретанов на гигиенические характеристики одежды кожи // Технологии и качество. 2023. № 1(59). С. 16–19.
2. Перспективные химические материалы в меховой промышленности / Р. А. Насирова, А. А. Гиехоннов, В. А. Сысоев, А. Р. Гарифуллина // Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с элементами научной школы для студентов и молодых ученых, г. Казань, 16–20 мая 2022 г. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2022. С. 289–290.
3. Influence of plasma activation nanostructure collagen on process structurization without chrome a fur sheepskin / A. R. Garifullina, V. A. Sysoev, R. A. Nasirova, A. A. Gieskhonov // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2379, No. 1. P. 012009.
4. Перспективы развития хромсберегающих технологий при выделке кожи и меха / В. А. Сысоев, И. Ш. Абдуллин, А. И. Салимова, Е. А. Панкова // Кожевенно-обувная промышленность. 2004. № 1. С. 48.
5. Михеев В. В., Сысоев В. А., Зайнуллина Л. Т. Синтез уретангликолей // Журнал прикладной химии. 1999. Т. 72, № 10. С. 1967.
6. Gaussian 16, Revision B.01 / M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria [et al.]. Wallingford : Gaussian, Inc., 2016.
7. Abinitio Molecular Orbital Theory / W. J. Hehre, L. Radom, P. v. R. Schleyer, J. A. Pople. New York : J. Wiley&Sons, 1986. 576 p.
8. Chemcraft graphical software for visualization of quantum chemistry computations. URL: <https://www.chemcraftprog.com> (дата обращения: 8.10.2024).

REFERENCES

1. Kalukova M. N., Sysoev V. A., Garifullina A. R. The effect of hydroxyl-containing low-molecular urethanes on hygienic characteristics of clothing leather. *Tehnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;1(59):16–19. (In Russ.)
2. Nasirova R. A., Gieshonov A. A., Sysoev V. A., Garifullina A. R. Promising chemical materials in the fur industry. *Novye tehnologii i materialy legkoj promyshlennosti : Materialy XVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s jelementami nauchnoj shkoly dlja studentov i molodyh uchenyh* [New technologies and materials of light industry : materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference with elements of a scientific school for students and young scientists]. Kazan, Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tehnologicheskij univ. Publ., 2022. P. 289–290. (In Russ.)
3. Garifullina A. R., Sysoev V. A., Nasirova R. A., Gieskhonov A. A. Influence of plasma activation nanostructure collagen on process structurization without chrome a fur sheepskin. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022;2379,1:012009.
4. Sysoev V. A., Abdullin I. Sh., Salimova A. I., Pankova E. A. Prospects for the development of chrome-saving technologies in the manufacture of leather and fur. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'* [Leather and shoe industry]. 2004;1:48. (In Russ.)
5. Miheev V. V., Sysoev V. A., Zajnullina L. T. Synthesis of urethanglicols. *Zhurnal prikladnoj himii* [Journal of Applied Chemistry]. 1999;72,10:1967.
6. Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H. B., Scuseria G. E. [et al.]. *Gaussian 16, Revision B.01*. Wallingford, Gaussian, Inc., 2016.
7. Hehre W. J., Radom L., Schleyer P. v. R., Pople J. A. *Abinitio Molecular Orbital Theory*. New York, J. Wiley&Sons, 1986. 576 p.
8. Chemcraft graphical software for visualization of quantum chemistry computations. URL: <https://www.chemcraftprog.com> (accessed 8.10.2024).

Статья поступила в редакцию 9.10.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 67.02

EDN STJKVX

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-47-54>

Илья Владимирович Магнитский¹

Мария Владимировна Магнитская²

Дмитрий Алексеевич Цветков³

Михаил Алексеевич Любченко⁴

Сергей Владимирович Палочкин⁵

^{1,2,3} Акционерное общество «Композит», г. Королев, Россия

^{4,5} Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

¹ masshka1@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1347-2674>

² soleylju@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6956-4347>

³ cvetolom@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4890-8252>

⁴ ma.ljubchenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9917-3976>

⁵ palnigs@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6192-0243>

МОДЕЛЬ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАГОТОВКАХ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИГЛОПРОБИВНЫХ КАРКАСОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НАМОТКИ ТКАНИ

Работа выполнена в рамках соглашения от 04.12.2023 №41/12-23 о предоставлении гранта
Правительства Московской области в сферах науки, технологии и инноваций

Аннотация. В данной работе приводятся результаты построения модели внутренних остаточных напряжений, возникающих при изготовлении заготовок углерод-углеродных композиционных материалов на основе иглопробивных осесимметричных армирующих каркасов, полученных методом намотки ткани с одновременным иглопробитием, уплотненных пироуглеродной матрицей термодиффузионным способом. Проведены расчеты изменения напряженно-деформационного состояния заготовки материала, возникающего в процессе ее изготовления при нагреве и охлаждении. Получены основные зависимости уровня напряжений от технологических параметров изготовления заготовок, оценены величина и опасность с точки зрения возникновения дефектов различных напряжений. Результат проведенных расчетов показывает, что радиальные напряжения прямо пропорциональны перепаду температур при охлаждении заготовки. Показано, что чем больше толщина заготовки материала, тем выше в ней радиальные напряжения. Полученные результаты могут быть полезны при оптимизации параметров технологии изготовления данного класса материалов.

Ключевые слова: углерод-углеродный композиционный материал, углеродная ткань, намотка, пироуглерод, внутренние напряжения, дефекты, иглопробивной каркас

Для цитирования. Модель внутренних напряжений в заготовках углерод-углеродных композиционных материалов на основе иглопробивных каркасов, изготовленных методом намотки ткани / И. В. Магнитский, М. В. Магнитская, Д. А. Цветков, М. А. Любченко, С. В. Палочкин // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 47–54. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-47-54>.

Original article

Ilya V. Magnitsky¹

Maria V. Magnitskaya²

Dmitry A. Tsvetkov³

Mikhail A. Lyubchenko⁴

Sergey V. Palochkin⁵

^{1,2,3} Joint-Stock Company “Kompozit”, Korolev, Russia

^{4,5} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

MODEL OF INTERNAL STRESS IN BLANKS OF CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIALS BASED ON NEEDLE-PUNCHED FRAMEWORKS MANUFACTURED BY THE FABRIC WINDING METHOD

Abstract. *This paper presents the results of constructing a model of internal residual stresses arising during the manufacture of blanks of carbon-carbon composite materials based on needle-punched axisymmetric reinforcing frames, obtained by the method of winding fabric with simultaneous needle-punching, compacted with a pyrolytic carbon matrix using a thermogradient method. Calculations were carried out for changes in the stress-strain state of a material workpiece that arise during its manufacture during heating and cooling. The main dependencies of the stress level on the technological parameters of blank manufacturing are obtained, the magnitude and danger from the point of view of occurrence of defects of various stresses are estimated. The main dependencies of the stress level on the technological parameters of blank manufacturing are obtained, the magnitude and danger from the point of view of occurrence of defects of various stresses are estimated. The result of the calculations shows that radial stresses are directly proportional to the temperature difference during cooling of the blank. It is shown that the greater the thickness of the material blank, the higher the radial stresses in it. The results obtained can be useful in optimizing the parameters of the manufacturing technology of this class of materials.*

Keywords: *carbon-carbon composite material, carbon fabric, winding, pyrolytic carbon, internal stresses, defects, needle-punched frame*

For citation: Magnitsky I. V., Magnitskaya M. V., Tsvetkov D. A., Lyubchenko M. A., Palochkin S. V. Model of internal stress in blanks of carbon-carbon composite materials based on needle-punched frameworks manufactured by the fabric winding method. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 47–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-47-54>.

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) все шире используются в современной технике в областях химического и энергетического машиностроения, легкой промышленности. Это объясняется их уникальной стойкостью к воздействию высоких температур и химической инертностью при нормальных условиях [1–3]. Такое расширение сферы применения приводит к увеличению как объемов выпуска, так и номенклатуры различных материалов, относящихся к этому классу. Данный процесс требует повышения стабильности характеристик УУКМ и снижения количества производственного брака, а также уменьшения издержек, связанных с разработкой и постановкой на производство вновь создаваемых материалов. Этим целям можно достичь только путем внедрения в практику не только моделей поведения УУКМ при эксплуатации изделий из них, но и моделей как производственного процесса в целом, так и отдельных его стадий, формируя таким образом цифровой двойник производства [4].

Одним из наиболее перспективных классов УУКМ являются материалы на основе иглопробивных армирующих каркасов, например, с цилиндрической симметрией свойств, полученных методом намотки ткани, уплотненные пироуглеродной матрицей [5]. Последняя образуется путем осаждения углерода из природного газа на нагретом до высокой температуры кар-

касе. Равномерная плотность материала формируется за счет применения термоградиентного метода, при реализации которого в заготовке материала образуется неоднородное температурное поле, позволяющее проводить осаждение матрицы в ограниченном объеме, нагретом до температуры разложения компонентов природного газа. Со временем этот объем смещается путем изменения температур, тем самым делая процесс уплотнения постепенным [2, 6]. Изготавливаемые таким образом УУКМ обладают высокими теплоизоляционными и прочностными характеристиками, а также сравнительно низкой стоимостью и коротким производственным циклом, что позволяет их применять в различных отраслях народного хозяйства.

Одним из основных факторов, приводящих к снижению прочностных характеристик УУКМ и возникновению в них внутренних дефектов в виде трещин и расслоений, являются внутренние напряжения, возникающие из-за разницы температур при формировании углеродной матрицы и при обработке, транспортировке, хранении и эксплуатации изделий из этих материалов [7–9]. В заготовках композиционных материалов с цилиндрической симметрией свойств такие напряжения образуются при изменении температуры даже в условиях однородного температурного поля в объеме заготовки.

Основной целью настоящей работы является построение модели распределения внут-

ренних напряжений в заготовке УУКМ с осесимметричной схемой армирования, возникающих во время уплотнения ее пироуглеродной матрицей. Возможность с достаточной точностью определять эти напряжения необходима для обоснованного выбора значений технологических параметров процесса уплотнения.

Рассмотрим процесс уплотнения заготовок УУКМ методом TG-CVI, детально описанным в литературе [2, 6]. При этом в качестве пористой среды используется иглопробивной каркас, полученный путем намотки мультиаксиальной ткани, а в качестве центрального стержня устанавливается графитовый трубчатый нагреватель, покрытый слоем графитовой фольги для удобства монтажа. Расчетная схема и применяемая в дальнейшем система координат приведены на рисунке 1.

При проведении технологического процесса уплотнения заготовок пироуглеродом согласно [2, 6] реализуется следующий температурный режим. В начале процесса внутренняя поверхность каркасов нагревается до температуры осаждения матрицы. Затем осуществляется рост температуры, сдвигающий фронт реакции на один заранее установленный шаг в радиальном направлении (см. рис. 1). После этого температура стабилизируется на время, достаточное для заполнения матрицей пористости в тонком слое, образованном этим шагом. Далее температура снова скачкообразно повышается, реализуя уплотнение следующего тонкого слоя. Этот цикл повторяется до тех пор, пока уплотненные слои не достигнут наружной поверхности заготовки, после чего садка охлаждается до комнатной температуры.

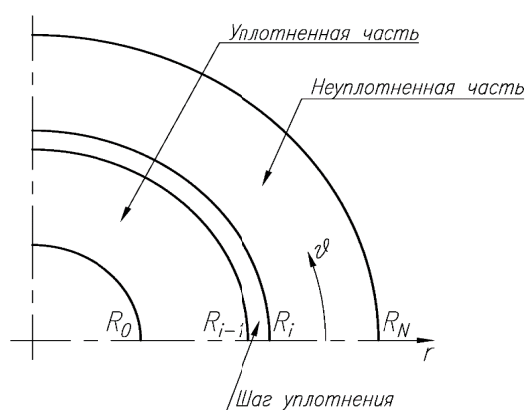


Рис. 1. Расчетная схема

Задача описания нестационарных процессов, происходящих в это время в материале, включающих химические, теплофизические и термомеханические явления, весьма сложна и требует значительного количества исходных

данных, не поддающихся определению с достаточной точностью. Однако ее решение в общем виде для описания характера распределения в заготовках внутренних напряжений нецелесообразно. Для упрощения этой задачи введем ряд упрощений и допущений.

Так, будем считать задачу плоской и осесимметричной, что обеспечивается формой заготовок и характером симметрии их свойств, определяющихся схемой армирования каркасов.

При решении тепловой задачи допустим, что нагрев заготовок имеет пассивный характер, а джоулево тепло выделяется только на графитовом нагревателе. При описании теплового состояния системы пренебрежем влиянием на него слоя графитовой фольги ввиду малости его толщины.

Также будем рассматривать только стационарные тепловые состояния садки, соответствующие моментам времени, непосредственно предшествующим началу нагрева для сдвига зоны уплотнения. Таким образом, весь процесс насыщения матрицей будет описываться конечным набором таких состояний.

Изменения теплопроводностей как армирующего каркаса, так и УУКМ, с температурой будем считать пренебрежимо малыми.

При термомеханических расчетах допустим, что за счет наличия слоя сравнительно податливой графитовой фольги напряженные состояния нагревателя и заготовок взаимно независимы, а следовательно, заготовки в ходе процесса уплотнения нагружены только внутренними термонапряжениями, образующимися за счет изменения ее температуры. При этом само осаждение пироуглерода в объеме текущей зоны уплотнения не создает дополнительных напряжений.

Ввиду значительной податливости неуплотненного каркаса по сравнению с УУКМ при термомеханических расчетах областью, в которой не произошло уплотнение, пренебрежем.

Поведение УУКМ будем считать линейно упругим, следовательно, напряжения, возникающие в нем на различных стадиях уплотнения, – подверженными действию принципа суперпозиции.

Таким образом, для определения внутренних напряжений в объеме заготовок рассматриваемого УУКМ необходимо:

- определить стационарные температурные поля в моменты, непосредственно предшествующие началу нагрева для сдвига зоны уплотнения;
- определить поля компонентов тензора напряжений в заготовке, образующиеся за счет изменений температурного поля между этими моментами;

– определить поля компонентов тензора напряжений в заготовке, образующиеся при финальном охлаждении ее до комнатной температуры.

Для определения температурного поля в частично уплотненной заготовке УУКМ по рисунку 1 необходимо решить стационарное дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$r \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{dT}{dr} = 0, \quad (1)$$

где T – температура.

Вид этого уравнения одинаков для уплотненной, находящейся в состоянии УУКМ, и неуплотненной, представляющей собой армирующий каркас, частей заготовки. Для получения частного решения необходимо дополнить его граничными условиями и условиями стыковки на границе между этими частями. Далее индексы «1» и «2» относят величину к насыщенной и ненасыщенной частям заготовки соответственно. На внутренней поверхности заготовки зададим граничные условия второго рода в виде

$$q_0 = -\lambda_1 \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R_0}, \quad (2)$$

где q_0 – плотность теплового потока через внутреннюю поверхность заготовки;

λ_1 – теплопроводность в радиальном направлении.

На наружной поверхности заготовки зададим граничные условия четвертого рода:

$$\sigma_0 \varepsilon_0 \left(T_2^4 \Big|_{r=R_N} - \Theta^4 \right) = -\lambda_2 \left. \frac{dT_2}{dr} \right|_{r=R_N}, \quad (3)$$

где σ_0 – постоянная Стефана – Больцмана;

ε_0 – интегральная степень черноты поверхности заготовки;

Θ – температура поверхности реактора.

Также сформулируем условия стыковки частей заготовки. Они сводятся к непрерывности на поверхности раздела последних как температуры, так и плотности теплового потока. Тогда можно записать:

$$T_1 \Big|_{r=R_i} = T_2 \Big|_{r=R_i} \quad (4)$$

и

$$-\lambda_1 \left. \frac{dT_1}{dr} \right|_{r=R_i} = -\lambda_2 \left. \frac{dT_2}{dr} \right|_{r=R_i}. \quad (5)$$

Здесь индекс i обозначает номер шага нагрева.

Дифференциальное уравнение (1) и условия (2)–(5) полностью формируют тепловую задачу. Решив ее, можно получить следующие зависимости температуры от радиальной координаты в обеих частях заготовки для i -го шага:

$$\begin{cases} T_{1i} = \frac{q_{0i} R_0}{\lambda_1} \ln \frac{R_i}{r} + \frac{q_{0i} R_0}{\lambda_2} \ln \frac{R_N}{R_i} + \sqrt[4]{\frac{q_{0i} R_0}{\sigma_0 \varepsilon_0 R_N}} + \Theta^4; \\ T_{2i} = \frac{q_{0i} R_0}{\lambda_2} \ln \frac{R_N}{r} + \sqrt[4]{\frac{q_{0i} R_0}{\sigma_0 \varepsilon_0 R_N}} + \Theta^4. \end{cases} \quad (6)$$

Неизвестную априори плотность теплового потока q_{0i} , соответствующую i -му шагу, можно найти из условия

$$T_1 \Big|_{r=R_i} = t, \quad (7)$$

где t – температура, при которой происходит осаждение пироуглерода.

С целью определения напряженного состояния заготовки УУКМ сформулируем задачу теории упругости. Ее основу составляет дифференциальное уравнение равновесия, в цилиндрических координатах для осесимметричной задачи имеющее вид

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\vartheta}{r} = 0, \quad (8)$$

где σ – напряжения, а индексы r и ϑ здесь и далее относят величину к радиальному и окружному направлениям соответственно.

Уравнение (8) дополняют соотношения Дюамеля – Неймана:

$$\begin{cases} \varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\nu_{\vartheta r} \sigma_\vartheta}{E_\vartheta} + \varepsilon_{T_r}; \\ \varepsilon_\vartheta = -\frac{\nu_{\vartheta r} \sigma_r}{E_\vartheta} + \frac{\sigma_\vartheta}{E_\vartheta} + \varepsilon_{T_\vartheta}. \end{cases} \quad (9)$$

Здесь ε – относительные деформации;

ε_T – относительные деформации, возникающие за счет теплового расширения;

E и ν – модули упругости и коэффициенты Пуассона материала.

Кроме того, в цилиндрических координатах справедливы соотношения между радиальными перемещениями u и деформациями:

$$\begin{cases} \varepsilon_r = \frac{du}{dr}; \\ \varepsilon_\vartheta = \frac{u}{r}. \end{cases} \quad (10)$$

Из равенств (8)–(10) можно получить дифференциальное уравнение относительно перемещений u вида

$$\beta \frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{\beta}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} - \beta \frac{d\varepsilon_{Tr}}{dr} - \frac{\beta}{r} (1 - \nu_{9r}) \varepsilon_{Tr} - \beta \nu_{9r} \frac{d\varepsilon_{T9}}{dr} - \frac{\beta \nu_{9r}}{r} \varepsilon_{T9} + \frac{\varepsilon_{T9}}{r} = 0. \quad (11)$$

Здесь введено обозначение

$$\beta = \frac{E_r}{E_9}. \quad (12)$$

Поскольку согласно принятым допущениям и наружная, и внутренняя поверхности уплотненной части заготовки не испытывают внешней нагрузки, для i -го шага нагрева граничные условия можно записать в виде

$$\begin{cases} \sigma_r|_{r=R_0} = 0; \\ \sigma_r|_{r=R_i} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Решение уравнения (11) с граничными условиями (13) позволяет определить поля напряжений σ_r и σ_9 по формулам:

$$\sigma_r = \frac{E_9 \beta}{1 - \nu_{9r}^2 \beta} \left(\frac{du}{dr} + \frac{\nu_{9r} u}{r} - \varepsilon_{Tr} - \nu_{9r} \varepsilon_{T9} \right) \quad (14)$$

и

$$\sigma_9 = \frac{E_9 \beta}{1 - \nu_{9r}^2 \beta} \left(\nu_{9r} \beta \frac{du}{dr} + \frac{u}{r} - \varepsilon_{T9} - \nu_{9r} \beta \varepsilon_{Tr} \right). \quad (15)$$

Зависимости $\varepsilon_r(r)$ определяются двумя факторами: распределениями температуры по радиусу заготовки (6) для конкретного шага нагрева и дилатометрическими кривыми материала, приведенными ниже.

Поскольку слои уплотненного материала формируются последовательно, при каждом очередном шаге нагрева во всех уже осажденных слоях возникают термические напряжения

(14) и (15). Также они возникают и при окончательном охлаждении заготовки после завершения технологического процесса. Действующие значения этих напряжений в каждый момент времени равны сумме их значений, возникших на всех предыдущих этапах процесса, поскольку, как было отмечено выше, для системы выполняется принцип суперпозиции.

Ввиду значительной громоздкости итоговых соотношений, в настоящей статье мы их опустим.

К исходным данным, необходимым для проведения расчетов по изложенному методу, относятся значения теплофизических и физико-механических характеристик как готового УУКМ, так и армирующего каркаса, используемого при его изготовлении, а также размеры заготовок и ряд параметров, описывающих технологический процесс уплотнения. При этом следует заметить, что значения свойств целесообразно принять типовыми для данного класса материалов, поскольку диапазон их изменения сравнительно невелик. В то же время для размеров заготовок и технологических параметров правильнее рассмотреть некоторые диапазоны значений, чтобы выявить действующие в процессе зависимости внутренних напряжений в заготовках от них.

Типовые значения характеристик УУКМ приведены в таблице. Заметим, что их зависимость от температуры, как правило, незначительна, и ею можно пренебречь.

Примем необходимую для расчета температурных полей радиальную теплопроводность неуплотненного каркаса $\lambda_2 = 0,2$ Вт/(м·К).

Температуру поверхности реактора можно принять равной $\Theta = 323$ К, а комнатную температуру, до которой окончательно охлаждается заготовка, $t_0 = 293$ К. Значения температуры осаждения пироуглерода t рассмотрим в диапазоне от 1073 до 1473 К.

Значения внешнего и внутреннего радиусов заготовки пусть варьируются в пределах от первых миллиметров до 100 мм.

Т а б л и ц а

Типовые значения характеристик УУКМ

Характеристика	Значение
Теплопроводность в радиальном направлении λ_1 , Вт/(м·К)	20
Модуль упругости в радиальном направлении E_r , ГПа	5
Модуль упругости в окружном направлении E_9 , ГПа	30
Коэффициент Пуассона ν_{9r}	0,3
Уравнение дилатометрической кривой в радиальном направлении $\varepsilon_{Tr}(T)$	$8 \cdot 10^{-10} T^2 + 5 \cdot 10^{-6} T - 0,002$
Уравнение дилатометрической кривой в кольцевом направлении $\varepsilon_{T9}(T)$	$2 \cdot 10^{-9} T^2 - 2 \cdot 10^{-6} T + 0,0012$
Предел прочности при растяжении в радиальном направлении σ_{gr} , МПа	20
Предел прочности при растяжении в кольцевом направлении σ_{g9} , МПа	80

Типовые распределения окружных напряжений в заготовке представлены на рисунке 2. Видно, что в конце процесса уплотнения перед началом охлаждения внутренняя часть заготовки испытывает сжимающие напряжения, а наружная – растягивающие. Напряжения, возникающие при охлаждении заготовки, имеют обратный характер зависимости от радиуса, при этом по абсолютному значению превосходя уровень напряжений, действующих в конце уплотнения. Поэтому после завершения охлаждения напряжения внутри заготовки растягивающие, а снаружи – сжимающие. Величина напряжений составляет около 10 % от типового предела прочности материала, что представляется незначительным.

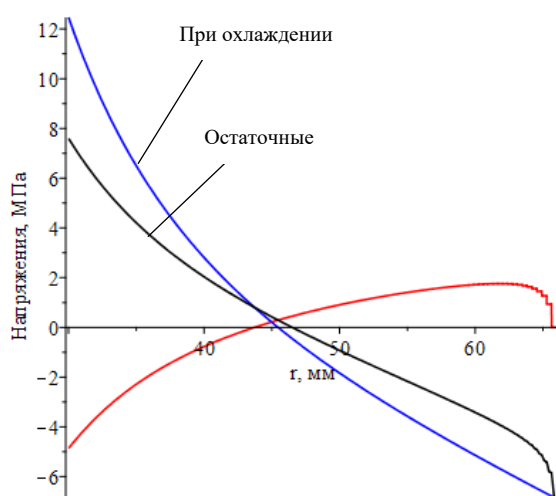


Рис. 2. Окружные напряжения

Графики аналогичных зависимостей радиальных напряжений приведены на рисунке 3.

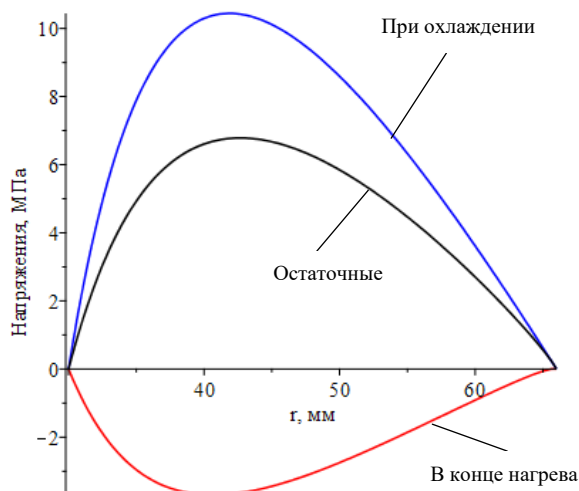


Рис. 3. Радиальные напряжения

В ходе уплотнения в заготовке возникают сжимающие напряжения, а при охлаждении – растягивающие. При этом остаточные напряжения носят именно растягивающий характер, причем их величина сравнима с пределом прочности материала при растяжении, что создает опасность возникновения расслоений. Таким образом, с точки зрения оптимизации технологических параметров уплотнения УУКМ наибольший интерес представляют именно радиальные напряжения. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Точка достижения максимума радиальных напряжений зависит только от размеров заготовки. Для удобства описания введем величину отношения наружного и внутреннего радиусов заготовки:

$$q = \frac{R_0}{R_N} \quad (16)$$

и относительную радиальную координату в виде

$$\rho = \frac{r - R_0}{R_N - R_0} \quad (17)$$

График зависимости $\rho_m(q)$, где ρ_m – координата максимума радиальных напряжений, имеет вид, показанный на рисунке 4. Наличие данной зависимости позволяет проводить идентификацию термических напряжений как причины возникновения расслоений в заготовках по локализации последних.

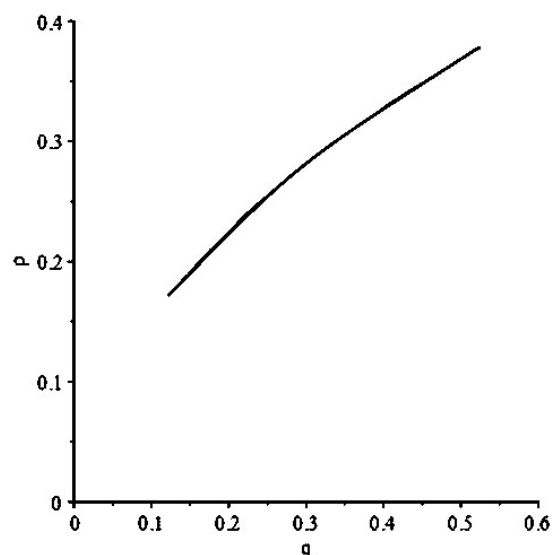


Рис. 4. Зависимость $\rho_m(q)$

Зависимости максимальных значений радиальных напряжений σ_{rm} от величины q для различных температур осаждения пироуглерода t

показаны на рисунке 5. Из приведенных данных ясно, что напряжения растут с ростом этой температуры. При этом чем выше значение q , тем напряжения σ_{rm} ниже.

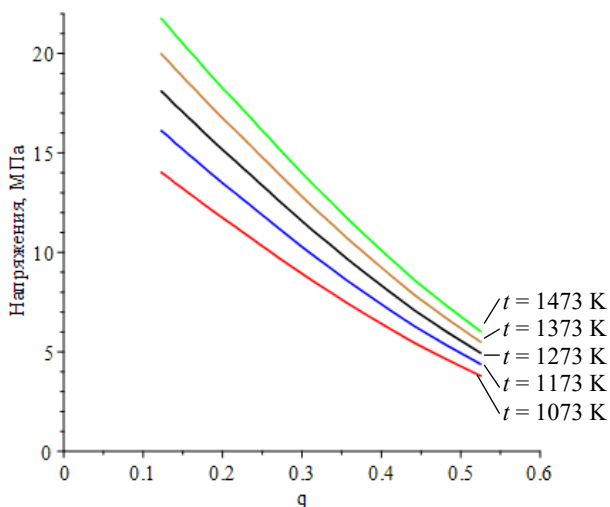


Рис. 5. Зависимость максимальных значений радиальных напряжений σ_{rm} от величины q

Таким образом, если известны допускаемые радиальные напряжения при растяжении для изготавливаемого УУКМ, можно наложить обоснованные ограничения на комплекс вели-

чин (q , σ_{rm}), обеспечивающие отсутствие расслоений в заготовках.

Таким образом, разработанная в настоящей статье модель возникновения внутренних напряжений в заготовках УУКМ с осесимметричными схемами армирования может быть использована для оценки распределений температуры, радиальных и окружных напряжений в их объеме.

Проведенные расчеты показывают, что основную опасность представляют собой радиальные напряжения, формирующиеся на стадии охлаждения заготовок до комнатной температуры. Их уровень может быть сравним с соответствующим пределом прочности материала, что приводит к опасности возникновения в заготовках таких дефектов, как расслоения и трещины. Применением разработанной модели можно сформировать ограничения на технологические параметры изготовления УУКМ таким образом, чтобы они гарантировали безопасный уровень внутренних напряжений.

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть полезны при разработке цифровых двойников реальных производств УУКМ, анализе причин возникновения брака на них, разработке соответствующих предупреждающих и корректирующих мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фиалков А. С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. М. : АспектПресс, 1997. 718 с.
2. Щурик А. Г. Искусственные углеродные материалы. Пермь, 2009. 342 с.
3. Morgan P. Carbon Fibers and their Composites. BocaRaton: CRC Press, 2005. 1131 p.
4. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб. : Питер ; Киев : BHV, 2004. 847 с.
5. Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites / A. P. Mouritz, M. K. Bannister, P. J. Falzon, K. H. Leong // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 1999. Vol. 30, No 12. P. 1445–1461.
6. Бушуев В. М., Мусин Р. К., Синани И. Л. Закономерности пироуплотнения тканопрошивных углеродных каркасов в термоградиентном режиме для изготовления герметичных конструкций // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 1. С. 125–130.
7. Dimitrienko Yu. I. Modelling of carbon-carbon composite manufacturing processes // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 1999. Vol. 30, No 3. P. 221–230.
8. Cowley K. D., Beaumont P. W. R. The measurement and prediction of residual stresses in carbon fibre/polymer composites // Composites Science and Technology. 1997. Vol. 57, No 11. P. 1445–1455.
9. Jiang T., Guan Z., Li Z. Process modelling of precursor impregnation and pyrolysis used in manufacturing ceramic-matrix composites // Ceramics International. 2021. Vol. 47, No 5. P. 7195–7206.

REFERENCES

1. Fialkov A. S. Carbon, interlayer compounds and composites based on it. Moscow, AspektPress Publ., 1997. 718 p. (In Russ.)
2. Shchurik A. G. Artificial carbon materials. Perm', 2009. 342 p. (In Russ.)
3. Morgan P. Carbon Fibers and their Composites. Boca Raton, CRC Press, 2005. 1131 p.
4. Kelton V., Lowe A. Simulation Modeling. CS Classics. 3 ed. Saint Petersburg, Piter Publ. ; Kiev, BHV Publ., 2004. 847 p. (In Russ.)

5. Mouritz A. P., Bannister M. K., Falzon P. J., Leong K. H.. Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1999;30,12:1445–1461.
6. Bushuev V. M., Musin R. K., Sinani I. L. The regularities of pyrocompaction tissue-sewed carbon framework in the gradient of temperature mode for production hermetic construction. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical Bulletin of the Volga region]. 2012;1:125–130. (In Russ.)
7. Dimitrienko Yu. I. Modelling of carbon-carbon composite manufacturing processes. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1999;30,3:221–230.
8. Cowley K. D., Beaumont P. W. R. The measurement and prediction of residual stresses in carbon fibre/polymer composites. *Composites Science and Technology*. 1997;57,11:1445–1455.
9. Jiang T., Guan Z., Li Z. Process modelling of precursor impregnation and pyrolysis used in manufacturing ceramic-matrix composites. *Ceramics International*. 2021;47,5:7195–7206.

Статья поступила в редакцию 25.10.2024
Принята к публикации 30.10.2024

ДИЗАЙН

Научная статья

УДК 745.03+671.1+673.15+666.293

EDN DMCVQG

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-55-59>

Ирина Владимировна Рыбакова¹

Сергей Ильич Галанин²

^{1,2} Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹ irarybakova.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8437-5798>

² sgalanin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5425-348X>

ЭКЛЕКТИКА В СОВРЕМЕННЫХ ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЯХ С ГОРЯЧЕЙ ЭМАЛЬЮ

Аннотация. В работе рассматриваются понятия художественного стиля в ювелирном искусстве и такого явления, как эклектика в дизайне украшений. Показано, что в ювелирном дизайне современных украшений наблюдаются все признаки эклектики, что в наибольшей степени учитывает эстетические потребности и особенности восприятия сегодняшнего потребителя. Отмечено, что на отдельных этапах развития ювелирного искусства эклектика зачастую предшествовала возникновению нового оригинального стиля. Приводится исторический пример периода, когда эклектика существовала в ювелирном дизайне, ее особенности и развитие. Подчеркивается значимость новых технологических приемов и материалов, применяемых в ювелирном дизайне в жанре эклектики. Также указываются признаки эклектичного подхода в дизайне при создании современных украшений с горячей эмалью. Подчеркивается, что ювелирные изделия с горячей эмалью – наиболее яркий пример современной эклектики. Из всех ювелирных украшений они являются наиболее технологически емкими и позволяют экспериментировать и со смешением технологий, и со смешением стилей ювелирного дизайна.

Ключевые слова: ювелирный дизайн, ювелирное изделие, горячая ювелирная эмаль, эклектика, стили ювелирного искусства, новые технологические приемы эмалирования, новые материалы в технике эмалирования

Для цитирования. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Эклектика в современных ювелирных украшениях с горячей эмалью // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 55–59. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-55-59>.

Original article

Irina V. Rybakova¹

Sergey I. Galanin²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

ECLECTICISM IN MODERN JEWELLERY WITH HOT ENAMEL

Abstract. The paper considers the concept of artistic style in jewellery art and such phenomenon as eclecticism in jewellery design. It is shown that in the jewellery design of modern jewellery all signs of eclecticism are observed, which to the greatest extent takes into account the aesthetic needs and peculiarities of perception of today's consumer. It is noted that at certain stages of jewellery art development eclecticism often preceded the emergence of a new original style. A historical example of the period when eclecticism existed in jewellery design, its peculiarities and development is given. The significance of new technological methods and materials used in jewellery design in the genre of eclecticism is emphasised. It also points out the signs of eclectic approach in design when creating modern jewellery with hot enamel. It is emphasised that jewellery with hot enamel is the most striking example of modern eclecticism. Of all jewellery, they are the most

© Рыбакова И. В., Галанин С. И., 2024

technologically capacious and allow experimenting with the mix of technologies and the mix of jewellery design styles.

Keywords: *jewellery design, jewellery goods, hot jewelry enamel, eclecticism, styles of jewelry art, new technological methods of enameling, new materials in enameling technique*

For citation: Rybakova I. V., Galanin S. I. Eclecticism in modern jewelry with hot enamel. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 55–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-55-59>.

Введение. Понятие «стиль» в ювелирном искусстве необычайно емко и многогранно. Из широкого спектра его значений, прежде всего, выделяется понятие «исторические художественные стили», которое трактуется как художественно обусловленная общность изобразительных приемов определенного времени или направления. В современном искусствоведении понятие «стиль» характеризует целый ряд явлений, таких как индивидуальный творческий стиль автора, торговой марки или бренда, совокупность определенных приемов и средств выражения. При этом стили в искусстве не имеют четких границ, во все времена они находились в непрерывном развитии, смещении и заимствовании, в рамках одного художественного стиля очень часто зарождался новый [1].

Многие стили сосуществовали одновременно, развиваясь и оказывая взаимное влияние, поэтому чистота стиля – явление достаточно редкое. Для определения последующих стилей с отсылкой к приемам прошлого в искусствоведении используется приставка нео- (необарокко, неорусский стиль и т. д.), под ними подразумевается так называемая *историческая стилизация*, а именно переосмысление художественных общностей прошлых исторических эпох и жанров в новых современных рамках развития общества [2].

Смещение различных стилей в одном издании принято называть эклектикой (от греч. *eklektikos* – выбирающий). Подобное смешение элементов всевозможных жанров является следствием взаимопроникновения разного рода культур, ретроспективного влияния, доступности информации, развития технологий, используемых в ювелирном искусстве.

На отдельных этапах развития искусства эклектика, несмотря на ее ретроспективность, отсутствие чистоты образов и манипуляции элементами разных жанров и культур, зачастую предшествует возникновению нового оригинального стиля [3–5].

Эклектика в современном дизайне ювелирных украшений. В современном ювелирном искусстве наблюдается тяготение к историзму, «жонглирование» элементами разных художественных направлений и даже сочетание

различных по стилю элементов в одном образе, что указывает на превалирование эклектики в создаваемых сегодня украшениях.

Современный эклектичный дизайн стремится выразить художественные представления в новых образах, подбирая формы, цвета, композиционные решения из всего наследия мирового ювелирного искусства. Тем самым учитываются эстетические потребности и особенности восприятия современного потребителя.

Таким образом, эклектика сегодня предполагает смешение стилей и дизайнерских решений различных регионов, культур и временных интервалов. Вместе с тем художники смело экспериментируют с объемом, геометрией форм и материалами, в том числе нетрадиционными и синтетическими, сочетанием различных металлических и конверсионных покрытий металлов, сплавов золота немыслимых ранее цветов, новейших огранок драгоценных камней. Современные технологии позволяют соединять в единое целое материалы и элементы, несоединимые ранее по техническим причинам [6].

Подобный процесс в ювелирном искусстве уже наблюдался в период зарождения модерна. Модерн вобрал в себя многие стили, и даже специалисты затрудняются ответить, где границы эклектики и начало развития стиля. Он возник как протест и строился на полном неприятии прежних принципов дизайна, в том числе и ювелирного. Отличительными чертами ювелирного искусства данного периода считаются плавные изогнутые линии, необычное сочетание материалов, динамика форм [7–10]. Возникла тяга к нетрадиционным идеям, которые несли основной смысл, материалы не удостоивались такого пристального внимания. В каждый элемент или изделие вкладывалась эмоция, чувство, именно поэтому украшения этого периода такие многогранные и поражающие зрителя новизной и нетривиальностью [2, 3]. Плавно вытекающая из эклектики, модерн основательно повлиял на мир искусства, дал толчок зарождению других популярных направлений.

В этот же период, помимо возникновения и решения новейших задач дизайна, наблюдалось значительное увеличение количества используемых ювелирных технологий, таких как

гальваника, горячая эмаль. Значительно увеличилось использование нетрадиционных для ювелирного искусства на тот момент материалов – мореный дуб, окаменелое дерево, в арсенал добавилось большое количество поделочных камней, отодвинув на второй план драгоценные камни [11, 12].

В полной мере эклектичный подход относится и к современным украшениям с горячей эмалью. Во-первых, происходит смешение технологий при их создании, что позволяет соеди-

нить различные ювелирные стили в одном изделии. Во-вторых, наблюдается значительное совершенствование старых и развитие новых технологий и приемов горячей эмалирования, которые используются либо отдельно, либо в соединении с более старыми технологиями. Таким образом, в период эклектичного подхода к дизайну происходит своего рода проверка жизнеспособности и совместимости старых и новых технологий [13] (рис. 1).



Рис. 1. Современные ювелирные украшения с горячей эмалью:

- а* – подвеска «Сорока» (желтое золото 750 пробы, бриллианты, горячая эмаль), мастерская Агафонова;
б – кольцо «Килиманджаро» (золото, сапфиры, танзаниты, бриллианты, эмаль), *ILGIZ F.*;
в – кольцо *EncryptedClarity* (золото 750 пробы, бриллианты, горный хрусталь, горячая эмаль), *Beenamell* (из открытых источников)

Например, в подвеске «Сорока» (рис. 1, *а*) натуралистичное изображение сороки сочетается с геометрическим обрамлением, которое по форме и контрасту эмали и металла характерно для периода ар-деко. В кольце «Килиманджаро» (рис. 1, *б*) классическая живописная эмаль представлена в объемном изображении как элемент миниатюрной скульптуры. В сочетании с объемными элементами крон деревьев с эмалью по гравированной поверхности создается эффект 3D-изображения. В кольце (рис. 1, *в*) также присутствуют геометрические элементы ар-деко, но представлены они через линзу из горного хрусталя, что вместе с градиентом эмали создает оптическую иллюзию большей глубины рисунка кольца, здесь элементы ар-деко сочетаются с принципом оп-арта.

Одним из примеров новых технологических приемов можно назвать создание изображения с 3D-эффектом на эмалевой поверхности в технике финифти. Принцип заключается в том, что на металлическую основу наносят элементы изображения на различных уровнях, разделенные слоем прозрачной эмали, что создает глубину росписи. Каждый последующий слой и обжиг снижает четкость предыдущих изображений, что создает дополнительный эффект глубины. Также к новым технологиям по декорированию поверхностей при горячем эма-

лировании можно отнести: декорирование с помощью эмалевых нитей и зерни, получение декоративных эффектов с помощью кусочков серебра и серебряной фольги и т. д.

К новым и перспективным материалам, используемым в технологии горячей эмалирования, можно отнести цветные смальты и художественные стекла, применяемые для создания объемных вставок или формирования рельефа.

Возможность получения эффекта объема и глубины на поверхности ювелирно-художественных изделий может поднять ювелирный дизайн на новый уровень [12–14].

ВЫВОДЫ

На отдельных этапах развития искусства эклектика зачастую предшествовала возникновению нового оригинального стиля.

В ювелирном дизайне современных украшений наблюдаются все признаки эклектики, что в наибольшей степени учитывает эстетические потребности и особенности восприятия сегодняшнего потребителя.

Ювелирные изделия с горячей эмалью – наиболее яркий пример современной эклектики. Из всех ювелирных украшений они являются наиболее технологически емкими и позволяют экспериментировать и со смешением технологий, и со смешением стилей ювелирного дизайна.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Дизайн и технологии в мировой истории эмальерного дела: от зарождения эмальерной техники до эмалей Древней Руси // Технологии и качество. 2022. № 3(57). С. 42–47.
2. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Дизайн и технологии в мировой истории эмальерного дела: от Средневековья до нашего времени // Технологии и качество. 2022. № 4(58). С. 32–38.
3. Гилодо А. А. Русская эмаль: Середина XIX – начало XX века. М. : Береста, 1996. 193 с.
4. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Классификация эмальерных технологий и их терминология // Технологии и качество. 2023. № 1(59). С. 46–53.
5. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Принцип исторического развития дизайна эмалированных ювелирно-художественных изделий на примере выемчатой эмали // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. вузов России / Санкт-Петербург. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна. – СПб. : СПбГУПТД, 2023. С. 96–100.
6. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Современные российские ювелирные эмали // Дизайн и технологии. 2023. № 95(137). С. 123–128.
7. Сильянова Е. А., Галанин С. И. Стиль модерн в современных ювелирных украшениях // Дизайн. Материалы. Технология. 2018. № 2(50). С. 25–29.
8. Галанин С. И., Сильянова Е. А. Материалы и технологии Рене Лалика // Технологии и качество. 2018. № 4(42). С. 52–58.
9. Сильянова Е. А., Галанин С. И. Эволюция дизайна в стилистике модерна // Дизайн. Материалы. Технология. 2019. № 1(53). С. 10–14.
10. Сильянова Е. А., Галанин С. И., Влияние различных художественных стилей на дизайн ювелирных украшений ар-нуво // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2(58). С. 17–25.
11. Рыбакова И. В., Галанин С. И. Дизайн и технология в эмалях Ильгиза Фазулзянова // Технологии и качество. 2022. № 2(56). С. 58–64.
12. Лебедева Т. В., Галанин С. И. Декоративные эффекты при горячем эмалировании : монография. Кострома : Костром. гос. технол. ун-т, 2016. 99 с.
13. Лебедева Т. В., Галанин С. И., Сырейщикова О. Н. Новые технологии формирования финифтяных вставок : монография. Кострома : Костром. гос. ун-т, 2021. 83 с.
14. Емельянов А. Ю., Емельянова Е. В. Применение эмалевых покрытий на основе художественного стекла и цветных смальт в ювелирных изделиях // Дизайн. Материалы. Технология. 2007. № 2(3). С. 113–115.

REFERENCES

1. Rybakova I. V., Galanin S. I. Design and technology in the world history of enamelmaking: from the origin of enamel technology to the Old Rus' enamels. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;3(57):42–47. (In Russ.)
2. Rybakova I. V., Galanin S. I. Design and technology in the world history of enamelmaking: from the middle ages to the present. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;4(58):32–38. (In Russ.)
3. Gilodo A. A. Russian enamel mid XIX early XX century. Moscow, Beresta Publ., 1996. 193 p. (In Russ.)
4. Rybakova I. V., Galanin S. I. Classification of enamel technologies and their terminology. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;1(59):46–53. (In Russ.)
5. Rybakova I. V., Galanin S. I. The principle of historical development of the design of enameled jewelry-artistic products on the example of hollowed enamel. *Nauka i obrazovanie v oblasti tekhnicheskoy estetiki, dizajna i tekhnologii hudozhestvennoj obrabotki materialov* [Science and education in the field of technical aesthetics, design and technology of artistic processing of materials]. Saint-Petersburg, St. Petersburg St. Univ. of Industrial Technologies and Design Publ., 2023. P. 96–100.
6. Rybakova I. V., Galanin S. I. Modern Russian jewelry enamels. *Dizajn i tekhnologii* [Design and Technology]. 2023;95(137):123–128. (In Russ.)
7. Silyanova E. A., Galanin S. I. Art Nouveau style in modern jewelry. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya* [Design. Materials. Technology]. 2018;2(53):25–29. (In Russ.)
8. Galanin S. I., Silyanova E. A. Materials and technologies of René Lalique. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2018;4(42):52–58. (In Russ.)

9. Silyanova E. N., Galanin S. I. Evolution of design in the style of modernity. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya* [Design. Materials. Technology]. 2019;1(53):10–14. (In Russ.)
10. Galanin S. I., Silyanova E. A. Influence of different artistic styles on the design of Art Nouveau jewelry. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya* [Design. Materials. Technology]. 2020;2(58):17–25. (In Russ.)
11. Rybakova I. V., Galanin S. I. Design and technology in enamels by Ilgiz Fazulzyanov. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;2(56):58–64. (In Russ.)
12. Lebedeva T. V., Galanin S. I. Decorative effects during hot enameling. Kostroma, Kostroma St. Tekhnol. Univ. Publ., 2016. 99 p. (In Russ.)
13. Lebedeva T. V., Galanin S. I., Syreishchikova O. N. New technologies for the formation of finifty inserts. Kostroma, Kostroma St. Univ Publ., 2021. 83 p. (In Russ.)
14. Emelyanov A. Yu., Emelyanova E. V. Application of enamel coatings based on art glass and colored smalt in jewelry. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya* [Design. Materials. Technology]. 2007;2(3):113–115. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 26.06.2024

Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 671.1:673.4:678.5-1:745.03

EDN UOOADD

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>

Татьяна Игоревна Жирова¹

Сергей Ильич Галанин²

^{1,2} Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹ pariisk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3532-936>

² sgalanin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5425-348X>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛЛИЯ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования технологии гальванопластики для изготовления крупногабаритной эксклюзивной дизайнерской фурнитуры для одежды, галантереи и обуви. Показан высокий технологический потенциал использования низкоплавких токопроводящих материалов, в частности галлия, для изготовления гальванопластических моделей. Экспериментально исследованы особенности создания моделей из галлия, формирования гальванопластических осадков меди на их поверхности, технологические приемы удаления галлия после осаждения меди. Показаны технологические проблемы, возникающие при работе с галлием, даны практические рекомендации по их нивелированию. Экспериментально доказано преимущество использования токопроводящих материалов для изготовления моделей для гальванопластики, так как по сравнению с диэлектриками, требующими графитизации поверхности, процесс электролиза значительно сокращается, что существенно экономит средства и ресурсы.

Ключевые слова: эксклюзивная дизайнерская фурнитура для одежды, галантереи и обуви, гальванопластика, токопроводящие низкоплавкие материалы для изготовления моделей, галлий, коэффициент поверхностного натяжения, гальванопластическая модель, электролит

Для цитирования. Жирова Т. И., Галанин С. И. Использование галлия в качестве модельного материала в гальванопластике // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 60–64. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>.

Original article

Tatyana I. Zhirova¹

Sergey I. Galanin²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

USE OF GALLIUM AS MODEL MATERIAL IN GALVANOPLASTY

Abstract. The article deals with the possibility of using the technology of electroplating for manufacturing large-size exclusive designer accessories for clothing, haberdashery and footwear. The high technological potential of using low-melting conductive materials, in particular, gallium, for manufacturing galvanoplastic models is shown. The features of creation of models from gallium, formation of galvanoplastic precipitation of copper on their surface, technological methods of gallium removal after copper deposition are experimentally investigated. Technological problems arising at work with gallium are shown, practical recommendations on their leveling are given. The advantage of using conductive materials for making models for electroplating is experimentally proved, as compared to dielectrics requiring graphitization of the surface, the process of electrolysis is considerably reduced, which significantly saves money and resources.

Keywords: exclusive designer accessories for clothes, galanterie and footwear, galvanoplasty, conductive low-melting materials for manufacturing models, gallium, surface tension coefficient, galvanoplastic model, electrol

For citation: Zhirova T. I., Galanin S. I. Use of gallium as model material in galvanoplasty. Technologies & Quality. 2024. No 4(66). P. 60–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-60-64>.

Введение. Гальванопластическое формирование является весьма перспективной альтернативой изготовления из металла крупногабаритной фурнитуры для одежды, галантереи и обуви [1]. Такая технология изготовления эксклюзивных дизайнерских изделий позволяет существенно уменьшить их вес при сохранении необходимых габаритов и свойств.

Изготовление гальванопластических изделий имеет свои особенности не только в процессе самого производства, но и дизайн-проектирования [2]. Одним из важных этапов является выбор материала для изготовления модели, на поверхность которой в дальнейшем производится наращивание слоя металла. Современные технологии позволяют производить 3D-проектирование и 3D-выращивание моделей из различных полимеров. Экспериментальные исследования показали перспективность использования токопроводящих пластиков для таких моделей [3, 4].

При изготовлении гальванопластических изделий весьма важным является выбор способа позитивного или негативного наращивания металла. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки. При позитивном наращивании металл наносится, как правило, на объемную модель, и качество поверхности и его шероховатость во многом определяются толщиной покрытия и размером зерен осаждающегося металла, которые зависят от состава электролита, режимов и продолжительности электролиза [2, 5]. Модель в результате остается внутри сформированного изделия. Ее либо удаляют различными способами (выжиганием, растворением, вытапливанием и т. д.), либо оставляют для укрепления изделия в процессе эксплуатации. При негативном наращивании металл наносится с обратной стороны модели. Качество поверхности и его шероховатость при этом определяются качеством поверхности модели. После формирования покрытия модель отделяется от него.

Модельные материалы для гальванопластики. Материал модели во многом определяет весь процесс изготовления изделия, технологию формирования токопроводящих и разделительных слоев, удаления модельного материала. Весьма интересна возможность использования для изготовления моделей легкоплавких токопроводящих материалов, что позволит легко удалять эти материалы на заключительной стадии и отказаться от необходимости формирования токопроводящих слоев графита на поверхности модели. В качестве таких материалов можно рассматривать легкоплавкие метал-

лы и сплавы, как правило, эвтектические металлические сплавы, имеющие низкую температуру плавления, не превышающую температуру плавления олова (231,9 °С). Для получения легкоплавких сплавов используются свинец, висмут, олово, кадмий, таллий, ртуть, индий, галлий и иногда цинк. Все эти металлы и сплавы имеют свои достоинства и недостатки. Одним из металлов, имеющих незначительную температуру плавления (после ртути и цезия), является галлий.

Галлий – серебристо-белый металл, покрывающийся на воздухе тонкой пленкой оксида. Плотность 5,91 г/мм³ (при 20 °С), у расплавленного галлия – 6,095 г/см³ (при 29,8 °С). Температура плавления 29,76 °С. Галлий очень мягок, его твердость по шкале Мооса 1,5. При комнатной температуре довольно пластичен. Не токсичен. Галлий, в отличие от ртути, хорошо смачивает стекло и многие другие материалы, за исключением полиэтилена, поэтому для его хранения и транспортировки используется полиэтиленовая посуда. При высоких температурах (выше 500 °С) жидкий галлий очень агрессивен и разъедает многие материалы сильнее, чем любой другой расплавленный металл [6].

В работе описаны экспериментальные исследования возможности использования галлия в качестве модельного материала в гальванопластике.

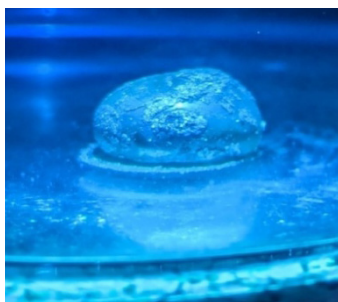
Описание эксперимента и обсуждение результатов. Использовался металлический галлий в виде гранул. На первом этапе исследовалось взаимодействие металлического галлия с сернокислым электролитом меднения ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 200...250 г, H_2SO_4 концентрированная (плотность 1,84 г/см³) – 50...70 г, вода дистиллированная 1 л). Все химические реактивы марки «Ч». Электролит выбирался из соображений широкого применения в различных технологических процессах, существенной изученности, стабильности и доступности компонентов. Гранула галлия погружалась в электролит на 6 ч (рис. 1, а). После указанного времени на поверхности галлия наблюдался незначительный контактный осадок меди, сформированный за счет образования электрохимической пары Ga – Cu (рис. 1, б). Газовыделения на поверхности галлия не наблюдалось, следовательно, отсутствовали какие-либо видимые побочные реакции.

Далее в заранее подготовленную форму в виде параллелепипеда с токоподводом был залит расплавленный пламенем газовой горелки

галлий (рис. 2). После затвердевания образец извлекался и обезжиривался окунанием в ацетон. Из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения жидкого галлия ($\sigma = 0,735$ Н/м по сравнению с водой, у которой $\sigma = 72,88 \cdot 10^{-3}$ Н/м) верхняя часть образца приобретает куполообразную форму. Это создает определенные проблемы при создании моделей: гальванопластическое осаждение меди необходимо производить

только на недеформированную часть поверхности моделей или корректировать их форму.

Для сравнения процессов осаждения меди на галлии со стандартным гальванопластическим осаждением использовался образец из полиметилметакрилата с аналогичными геометрическими характеристиками. Поверхность этого образца покрывалась токопроводящим графитовым спреем.



а



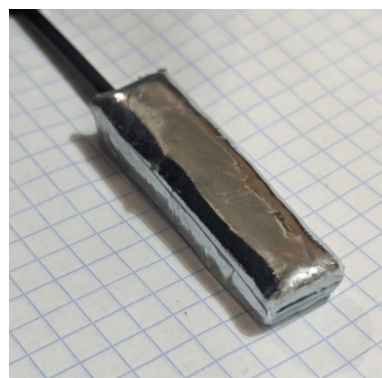
б

Рис. 1. Галлий в сернокислом электролите меди:

а – гранула галлия, погруженная в электролит; б – контактное выделение меди на поверхности галлия



а



б

Рис. 2. Залитый в форму галлий (а) и извлеченный образец (б)

Использовался лабораторный регулируемый источник питания постоянного тока Vauxin DC Power Supply PS-305D. Осаждение металла проводилось в цилиндрической стеклянной ванне с использованием цилиндрического растворимого анода из меди. Перемешивание электролита в процессе электролиза осуществлялось с помощью магнитной мешалки STIRRERtype: OP-912/3. Образцы вешивались в ванне с помощью штатива (рис. 3).

При электроосаждении температура электролита поддерживалась (24 ± 1) °С. Продолжительность осаждения на обоих образцах 48 ч. Плотность тока при покрытии галлия составляла на протяжении всего процесса 1 А/дм². При покрытии второго образца сначала производилась так называемая затяжка поверхности в течение 13 ч при плотности тока 0,02 А/дм² во избежание подгорания мест соединения с электроподводами. После покрытия образца медью полностью плотность тока была увели-

чена до 1 А/дм². Внешний вид образцов после гальванопластического осаждения меди представлен на рис. 4. Масса осадившейся меди на образцах и количество пропущенного электричества представлены в таблице.



Рис. 3. Экспериментальная установка

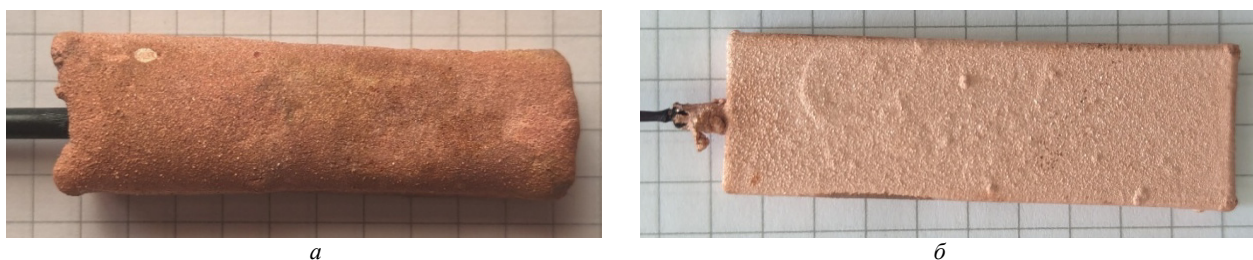


Рис. 4. Внешний вид образцов после гальванопластического осаждения меди:
а – из галлия; б – из графитизированного полиметилметакрилата

Т а б л и ц а

Масса осадившейся меди на образцах и количество пропущенного электричества

Материал образца	Масса осадившейся меди m , г	Прошедший заряд q , Кл	q/m
Галлий	$11,37 \pm 2$	$34\,560 \pm 173$	3024...3055
Графитизированный полиметилметакрилат	$5,94 \pm 2$	$18\,069 \pm 91$	3027...3057

Различия в количестве пропущенного электричества и в массе осадившейся меди связаны с тем, что поверхность графитизированного образца «затягивалась» медью от токоподвода по всей поверхности на пониженной плотности тока в течение 13 ч. Однако равенство отношения q/m для обоих образцов свидетельствует об однозначности процессов осаждения на их поверхности, т. е. при одинаковом количестве пропущенного электричества массы осадившейся меди были бы равны.

После осаждения меди галлий извлекался путем расплавления при погружении образца в горячую воду ± 90 °С. Галлий легко извлекался из образца и собирался на дне емкости (рис. 5).



Рис. 5. Извлечение галлия в горячей воде

Но из-за высокой температуры на поверхности расплавленного металла образовывалась

оксидная пленка. В связи с этим данный способ извлечения галлия в производственных условиях использовать не рекомендуется.

ВЫВОДЫ

Результаты эксперимента показали:

1) высокий технологический потенциал использования низкоплавких токопроводящих материалов, в частности галлия, в качестве материала для изготовления моделей для гальванопластики;

2) преимущество использования токопроводящих материалов для изготовления моделей, так как по сравнению с диэлектриками, требующими графитизации поверхности, процесс электролиза значительно сокращается, что значительно экономит средства и ресурсы;

3) нагрев галлия необходимо проводить постепенно, так как при увеличении температуры возрастает его реакционная способность с образованием оксидной пленки; рекомендуется помещать галлий в пластиковый контейнер, который нагревается на водяной бане или с помощью теплого воздуха;

4) из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения жидкого галлия при заливке металла в форму верхняя часть образца становится куполообразной, что требует корректировки модели или проведения осаждения металла только на недеформированную поверхность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Жирова Т. И., Галанин С. И., Иванова О. В. Гальванопластические аксессуары для одежды, сумок и обуви // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 77–81.
- Галанин С. И., Жирова Т. И. Особенности дизайна, конструкции и технологии изготовления гальванопластических ювелирных изделий // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 47–53.
- Галанин С. И., Жирова Т. И. Гальванопластические покрытия на сложнопрофилированных моделях из токопроводящего и токонепроводящего пластика // Электронная обработка материалов. 2020. Т. 56, № 3. С. 9–16.

4. Galanin S. I., Zhirova T. I. Electroplating Coatings on Complex Profiled Models Made of Conductive and Current-Conducting Plastic // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021, Vol. 57, No. 1, pp. 51–58.
5. Галанин С. И., Колупаев К. Н. Особенности создания современных ювелирно-художественных изделий : монография. Кострома : Костром. гос. ун-т, 2023. 172 с. 1 CD-ROM.
6. Галлий // School-collection – образовательные ресурсы : веб-портал. URL: <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1738739e-63fe-9b2f-7939-c4e88243614f/1011821A.htm> (дата обращения: 01.07.2024).

REFERENCES

1. Zhirova T. I., Galanin S. I., Ivanova O. V. Galvanoplastic accessories for clothing, bags and shoes. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2024;1(63).77–81. (In Russ.)
2. Galanin S. I., Zhirova T. I. Features of design, construction and technology of manufacturing galvanoplastic jewellery. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2021;4(54).47–53. (In Russ.)
3. Galanin S. I., Zhirova T. I. Electroplated coatings on complex-shaped models made of conductive and non-conductive plastic. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic Processing of Materials]. 2020;56.3:9–16. (In Russ.)
4. Galanin S. I., Zhirova T. I. Electroplating Coatings on Complex Profiled Models Made of Conductive and Current-Conducting Plastic. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021;57.1:51–58.
5. Galanin S. I., Kolupaev K. N. Features of the creation of modern jewelry and art products. Kostroma, Kostroma St. Univ Publ., 2023. 172 p. (In Russ.)
6. Gallium. School-collection – Educational resources. URL: <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1738739e-63fe-9b2f-7939-c4e88243614f/1011821A.htm> (accessed 01.07.2024).

Статья поступила в редакцию 6.09.2024
Принята к публикации 30.10.2024

Научная статья

УДК 687.152

EDN ZLAZQX

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-65-70>

Ольга Игоревна Денисова¹

Артем Руфимович Денисов²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург, Россия

² Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

¹ ipolgadenisova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6860-2292>

² iptema@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3359-4103>

АКТУАЛЬНОСТЬ РОЛИ СОВРЕМЕННОЙ КОРПОРАТИВНОЙ УНИФОРМЫ В ПРОДВИЖЕНИИ МЕССЕДЖА КОМПАНИИ

***Аннотация.** В статье рассмотрены тенденции формирования проектного образа моделей униформы, связанные с востребованностью коммуникативно-смысловой функции этого вида одежды. Несмотря на то что дизайн униформы использовался для невербальной трансляции месседжей еще в прошлом веке, примером чему являются разработки советских конструктивистов, значимость этой роли униформы обычно не акцентировалась. Однако математические модели, полученные на основе применения авторской методики выявления и анализа трендов корпоративной моды, позволили установить, что коммуникационное взаимодействие компании посредством символического языка униформы занимает важное по значимости место среди современных трендов. При этом, как показали результаты исследования, необходимость в продвижении месседжей посредством дизайна униформы в наибольшей степени свойственна для компаний высокой степени «зрелости» – перспективным развивающимся компаниям, ориентированным на соответствующую прогрессивную целевую аудиторию.*

***Ключевые слова:** коммуникативно-смысловая функция, актуальная тенденция, дизайн, анализ тренда, математическая модель, дресс-код, формализация, фирменный стиль*

***Для цитирования.** Денисова О. И., Денисов А. Р. Актуальность роли современной корпоративной униформы в продвижении месседжа компании // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 65–70. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-65-70>.*

Original article

Olga I. Denisova¹

Artem R. Denisov²

¹ Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia

² Kostroma State University, Kostroma, Russia

THE RELEVANCE OF THE ROLE OF MODERN CORPORATE UNIFORM IN PROMOTING THE COMPANY'S MESSAGE

***Abstract.** The article examines the trends in the formation of the design image of uniform models, related to the demand for the communicative and semantic function of this type of clothing. Despite the fact that uniform design was used for non-verbal transmission of messages in the last century, an example of which are the developments of Soviet constructivists, the significance of this role of uniform was usually not emphasized. However, mathematical models obtained on the basis of the application of the author's method of identifying and analyzing trends in corporate fashion allowed us to establish that the company's communication interaction through the symbolic language of uniform occupies an important place among modern trends. At the same time, as the results of the study showed, the need to promote messages through uniform design is most characteristic of companies with a high degree of "maturity" – promising developing companies focused on the corresponding progressive target audience.*

Keywords: *communicative and semantic function, current trend, design, trend analysis, mathematical model, dress code, formalization, corporate style*

For citation: Denisova O. I., Denisov A. R. The relevance of the role of modern corporate uniform in promoting the company's message. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 65–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-65-70>.

Корпоративная униформа характеризуется большим разнообразием дизайнерских решений, своеобразно отражающих представление заинтересованных лиц о роли внешнего вида сотрудников и приоритетных функциях их одежды. Развиваясь в соответствии с эволюционированием идеи фирменного стиля, современная корпоративная мода оперирует «полярными» приемами организации композиции костюма: от возрождения ретротрадиций профессионального образа (например, «типичный советский» вид официанток модного ресторана [1]) до инверсивных решений, разрушающих традиционное представление о профессии: например, белый дресс-код, введенный на Челябинском трубопрокатном заводе (ЧТПЗ) и т. д.

С целью выявления трендов, задающих вектор развития корпоративной моды, была предложена методика [2], предполагающая построение математических моделей. Применение методики для анализа данных более 100 примеров успешного внедрения фирменного дизайна костюма для сотрудников различных организаций РФ позволило установить наличие актуальных тенденций, наиболее значимых для объяснения разнообразия проектов в области дресс-кода. В частности, определен ведущий тренд, который противопоставляет унифицированные проекты жесткого дресс-кода гибким вариантам [2]: эта тенденция достаточно очевидна, поскольку с позиций теории моды формализованная политика дресс-кода вызывает неоднозначные амбивалентные реакции со стороны задействованных лиц [3], что, как правило, приводит к ужесточению требований. Однако в ситуации, когда руководство компании стремится продемонстрировать лояльность по отношению к сотрудникам, в формулировке положений о внешнем виде могут быть использованы толерантные компромиссные решения вплоть до замены унифицированного образа корректными ограничениями по выбору стилового решения моделей одежды.

А вот значение второго и третьего трендов, которые оказались связаны с востребованностью выражения месседжа компании посредством униформы, можно рассматривать как актуальную тенденцию современности, подчеркивающую важную роль дресс-кода в коммуника-

ции как с клиентами компании, так и во внутрикорпоративной среде [4]. В частности, второй компонент на одном своем «полюсе» демонстрирует популярность месседжей, направленных внутрь компании (рис. 1, а).

В лидеры проектов униформы, проранжированных в соответствии с полученными данными, вошли:

- школьный дресс-код специализированного/профильного «Роснефть-класса» (г. Грозный), где унифицированный аксессуар – желтый шейный платок – передает месседж сопричастности к преуспевающей корпорации;
- варианты расслабленного дресс-кода бэк-офисов банков, позиционирующих месседж «прогрессивность»;
- униформа студентов горных вузов Санкт-Петербурга и Екатеринбурга, дизайн которой отсылает к образу инженера Российской империи, включая иерархию горных чинов подобно «табелю рангов». Возрождение традиций профессионального дресс-кода, очевидно, связано с реализацией месседжа «гордости от приобщения к ценностям отечественной школы качественного инженерного образования», направленного внутрь контингента учащихся и преподавательского состава.

Противоположным полюсом рассматриваемого тренда является максимально унифицированная форма сетевых и федеральных компаний. Так, после ранжирования среди лидеров со «второй стороны» оказались проекты для пассажирских авиакомпаний (ООО «Авиакомпания Когалымавиа», ООО «Авиакомпания Победа», АО «Авиакомпания Россия» и др.). Таким образом, тренд на жесткую унификацию практически всех составляющих образа характерен для напрямую контактирующих с широкой целевой аудиторией сотрудников крупных компаний, для которых важна корпоративная иерархия и дисциплина, легкость идентификации, демонстрация надежности и стабильности качества услуг. Униформа здесь играет привычную, устоявшуюся в общественном сознании роль; ее невербальный язык не создает новых, требующих определенного напряжения в прочтении, ассоциаций у потребителей. Поэтому эстетика таких проектов прежде всего связана

с их конкурентоспособностью: даже если использовать костюм сотрудника как полотно для отражения месседжа компании [4], то месседж будет клиентоориентирован, т. е. направлен вовне.

Третий компонент (рис. 1, б) позволяет выделить приоритет одного из месседжей, направленного на современных потребителей, – это «традиции качества/сервиса». Лидерами

тренда оказались проекты в сфере ресторанного бизнеса: в основном, это униформа персонала небольших по численности «премиальных» заведений, зачастую специализирующихся на определенной национальной кухне. Из ранжированного списка, представленного на рис. 1, б, можно увидеть, что другим полюсом тренда является ориентация компании на низкий уровень дохода потребителей.

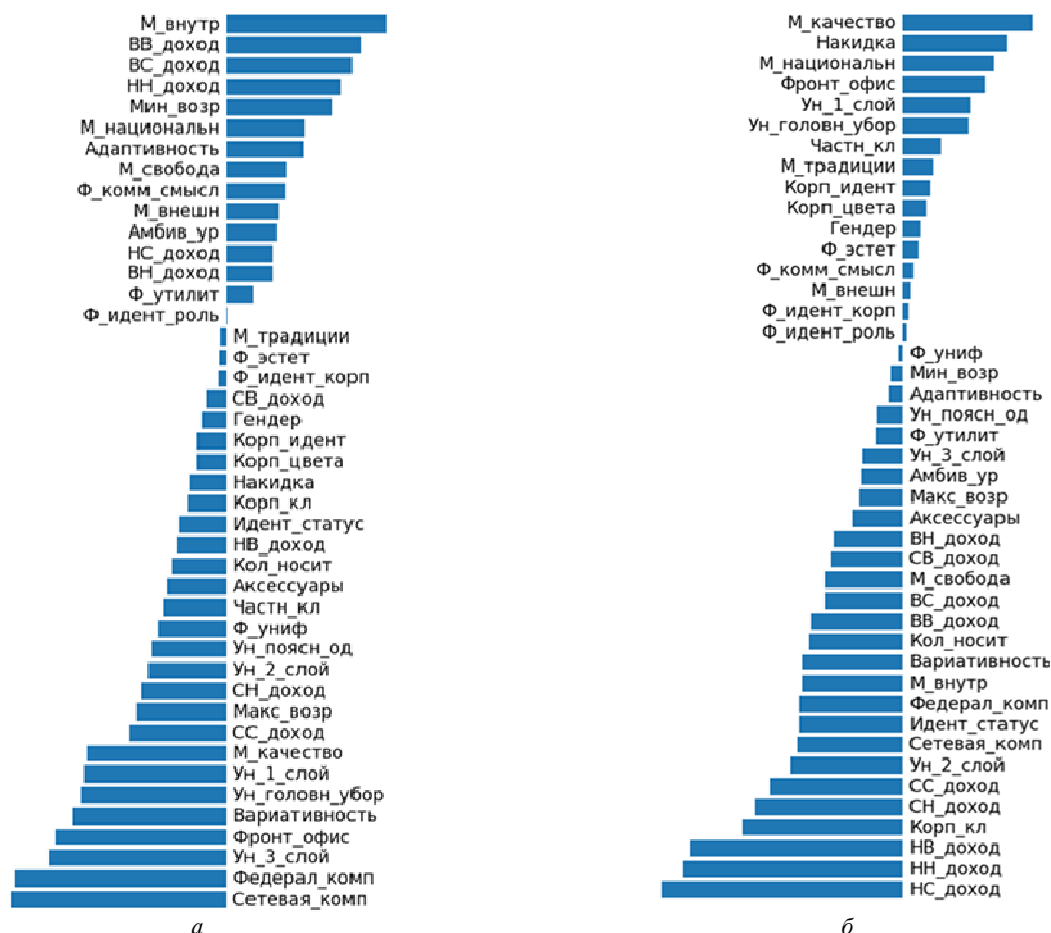


Рис. 1. Второй (а) и третий (б) по значимости тренды в дизайне современной униформы

Для понимания эволюционирования механизмов корпоративной моды интерес вызывает сравнение проектов современной корпоративной одежды с позиции выявления возможной взаимосвязи второго и третьего компонентов трендов (рис. 2).

Анализ полученных данных показывает, что отсутствие явно выраженной потребности в передаче месседжей (нижний правый сектор изображения на рис. 2) характерно для проектов федеральных компаний, ряд из которых продолжительное время являлись практически монополистами на российском рынке (ОАО

«РЖД», АО «Почта России», ПАО «Аэрофлот», ПАО «Газпром», МФЦ и др.), а также для униформы популярных сетевых компаний: заведений быстрого питания («Burger King», KFC, «Вкусно и точка» и т. п.), торговых сетей («Leroy Merlin», «Пятерочка» и др.), сервисов доставки («Деливери», «ЯндексЕда» и т. д.). Очевидно, что деятельность данных компаний широко распространена и стабильно востребована; дизайн униформы унифицирован, узнаваем и отличим целевой аудиторией, поэтому его радикальное изменение или отказ от унифицированного образа не в интересах этих организаций.



Рис. 2. Взаимосвязь второго и третьего компонентов трендов

Комбинация второго и третьего тренда характерна для инновационных проектов в дизайне корпоративной униформы, при этом сферы деятельности компаний различны, так же как и их мотивация к редизайну и выбор концептуального решения:

- упомянутый выше ЧТПЗ реализовал свой прогрессивный «белый дресс-код», что позволило привлечь молодые кадры, продемонстрировав современный уровень организации работ в области черной металлургии;
- идея толерантности и самовыражения каждого работника сети кофеен “Starbucks” передана за счет унификации только одного элемента костюма – фартука, но введение фирменной системы «геральдики» позволяет компании отразить в цветовых комбинациях этой обязательной составляющей рабочего образа различные личные заслуги сотрудника;
- оригинален подход к созданию образа у сотрудников агентств недвижимости «Этажи», где формально нет унифицированных элементов одежды, но жестко регламентируется цветовое решение и стиль костюма, и обязательно наличие носителей фирменной айденти-

тики в формате бейджей, значков, канцтоваров (ручки, блокноты и др.), что создает узнаваемый, представительный, внушающий доверие клиентам и однозначно идентифицирующий компанию образ сотрудника при минимизации затрат со стороны руководства организации;

- униформу элитных заведений, преимущественно отелей и ресторанов (Гранд-кафе «Dr. Живаго», отелей «Метрополь» и “Radisson”, японского ресторана «Тоторо», гостиницы “The Carlton, Moscow” и др.) отличает уникальный дизайн [5], к созданию которого привлекались именитые профессионалы (например, форма для персонала отеля «Метрополь» от дизайн-бюро RUSMODA.pro во главе с А. Тереховым¹, им же создана униформа центра красоты и здоровья «Белый Сад», расположенного в отеле). При этом для компаний важна не только клиентоориентированность на определенный сегмент потребителей, но и сохранение постоянства кадров с высоким уровнем профессионализма, по-

¹ URL: <https://style.rbc.ru/beauty/5a4119649a7947597d81a4f4>

скольку без них невозможно будет функционировать в заявленном сегменте, отсюда возникает востребованность месседжа внутри компании. В этом случае дизайн униформы используется для мотивации персонала [6, 7].

Ориентация на месседж «традиции качества/сервиса», исключая иные невербальные послания, характерна для популярных сетей магазинов продовольственных и непродовольственных товаров, аптек и иных услуг как в формате гипермаркетов, так и торговых точек «у дома»: гипермаркеты «О'КЕЙ», розничные магазины «Дикси», «Перекресток», DNS, «Максидом», медицинские центры «Ситилаб» и т. п., а также для авиакомпаний, специализирующихся на перевозках внутри регионов РФ. Таким образом, речь идет о фирмах, чьи услуги доступны широким слоям населения, востребованы практически постоянно, но при этом в среде этих фирм присутствует определенная конкуренция за потребителей, когда важно сформировать и сохранить их контингент. И поскольку формат запросов этих потребителей достаточно стабилен, а услуги компаний в целом идентичны, то акцент в униформе делается на традиции качественного сервиса. Примером может служить сеть ортопедических салонов «ОРТЕКА», где продавцы-консультанты одеты как медперсонал, что вызывает большее доверие потребителя при выборе ортопедических товаров и пр.

В свою очередь, месседж традиции качества не характерен для прогрессивного расслабленного дресс-кода, существующего, например, в современной банковской сфере (нижний правый сегмент изображения на рис. 2), а также для учреждений в сфере образования и культуры: специализированных гимназий, школ, техникумов, профильных классов, музеев, выставочных центров. Очевидно, что «прогрессивность» противопоставляется традициям, что и определяет отказ от демонстрации этого послания и замены его более актуальными и модными «призыва-

ми» в дизайне корпоративной униформы. Так, например, концепт униформы для зрителей Музея Москвы от дизайнера Игоря Чапурина отличается определенной авангардностью как в выборе материалов, так и художественного решения в целом: дизайнер разработал жилеты из неопрена с геометрическим принтом, напоминающие вариацию куртки-бомбера. В то время как «непрогрессивные» смотрительницы, скорее всего, представляются современным посетителям в более консервативном образе.

ВЫВОДЫ

Таким образом, выбор месседжа и способа его реализации в концепте униформы определяется актуальными стратегическими целями компании, ее позиционированием на современном рынке, что вызвало переосмысление приоритетов функций этого костюма. Коммуникативная функция униформы явно становится более востребована в современной политике дресс-кода по сравнению, например, с периодом конца XX века, когда униформа делала внешний вид сотрудника лишь своеобразной составляющей фирменного стиля – визуальным идентификатором компании, продолжением концепции размещения ее айдентики. Сейчас роль современной униформы все чаще рассматривается не как принудительное средство создания единства образа сотрудников и дистанцирования от конкурентов, а как средство для трансляции актуальных ценностей компании клиентам и сотрудникам: «мы – за прогресс / за экологию / за семейные ценности / за самовыражение / за традиции...». Это явление в большей степени характерно для открытых прогрессивных компаний, ориентированных на такого же потребителя. Федеральные и сетевые компании менее подвержены влиянию этого тренда, поскольку их конкурентоспособность велика: здесь доминирует унифицирующая роль консервативного дресс-кода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пеша А. В. Униформа на предприятиях общественного питания России: ретроспективный аспект // Костюмология. 2017. Т 2, № 3. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/01KL317.pdf> (дата обращения: 23.09.2024).
2. Денисова О. И., Денисов А. Р. Выявление и анализ основного тренда в дизайне корпоративной униформы // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 64–69.
3. Kaiser S. B., Nagasawa R. H., Hutton S. S. Construction of an SI theory of fashion: Part 1. Ambivalence and change // Clothing and Textiles Research Journal. 1995. No 13(3). С. 172–183.
4. Денисова О. И., Денисов А. Р. Проблема передачи месседжа компании посредством невербального языка корпоративной униформы // Технологии и качество. 2023. № 1(59). С. 54–60.
5. Алексушин Г. В., Михайлова Ю. В. Внешний вид персонала как элемент брендинга средств размещения // Скифф. Вопросы студенческой науки. 2021. № 11(63). С. 36–40. URL: https://sciff.ru/wp-content/uploads/2022/01/Sciff_11_63.pdf (дата обращения: 23.09.2024).

6. Леонов М. Е., Карпов А. В. Разработка концепции мотивации персонала посредством корпоративного стиля одежды // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 3, № 13. С. 377–379.
7. Денисова О. И., Сурженко Е. Я. Анализ эволюции деловой корпоративной моды // Технологии и качество. 2022. № 3(57). С. 56–60.

REFERENCES

1. Pasha A. V. Uniforms in public catering establishments in Russia: a retrospective aspect. *Kostyumologiya* [Costumeology]. 2017;2,3. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/01KL317.pdf> (accessed 23.09.2024). (In Russ.)
2. Denisova O. I., Denisov A. R. Identifying and analyzing the main trend in corporate uniform design. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2024; № 1(63): 64–69. (In Russ.)
3. Kaiser S. B., Nagasawa R. H., Hutton S. S. Construction of an SI theory of fashion: Part 1. Ambivalence and change. *Clothing and Textiles Research Journal*. 1995;13(3):172–183.
4. Denisova O. I., Denisov A. R. The problem of conveying a company's message through the non-verbal language of corporate uniforms. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;1(59):54–60. (In Russ.)
5. Aleksushin G. V., Mikhailova Yu. V. The appearance of the staff as an element of branding of accommodation facilities. *Skif. Voprosy studentcheskoy nauki* [Skif. Issues of student science]. 2021;11(63):36–40. URL: https://sciff.ru/wp-content/uploads/2022/01/Sciff_11_63.pdf (accessed 23.09.2024). (In Russ.)
6. Leonov M. E., Karpov A. V. Elaborating of the concept of staff motivation through corporate style clothing. *Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki* [Actual problems of aviation and cosmonautics]. 2017;13(3):377–379. (In Russ.)
7. Denisova O. I., Surzhenko E. Ya. Cultural analysis of the evolution of business corporate fashion. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;3(57):56–60. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 9.10.2024
Принята к публикации 30.10.2024

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья

УДК 378.016

EDN ZAJXWV

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-71-75>

Илья Вячеславович Лобов¹

Мария Сергеевна Красавина²

^{1,2} Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹ lobovilya13@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3146-6909>

² nekh.ms@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9892-046X>

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК

Аннотация. В статье рассматривается разработанная система «ЭвоСпорт», предназначенная для визуализации результатов тренировочного процесса в плавании. Основное внимание уделено преимуществам использования визуализации данных для анализа и оптимизации тренировочных программ. Описаны ключевые методы визуализации, такие как графики и двухмерные диаграммы, применяемые в «ЭвоСпорт». Обсуждаются перспективы дальнейшего развития системы, включая внедрение трехмерного моделирования для детального анализа техники выполнения упражнений. В статье подчеркивается важность индивидуализации тренировочных программ и влияние визуализации данных на повышение эффективности тренировок. Дальнейшее развитие в области визуализации результатов тренировок предполагает углубление исследований в области эффективности различных методов визуализации, а также разработку новых подходов, учитывающих специфику различных видов спорта и потребности спортсменов. Это позволит создать более эффективные инструменты для анализа и оптимизации тренировочного процесса, что в конечном итоге приведет к улучшению спортивных результатов и повышению эффективности тренировок.

Ключевые слова: система, спорт, плавание, тренировки спортсменов, цифровизация спорта, генерация тренировки, визуализация результатов

Для цитирования. Лобов И. В., Красавина М. С. Система визуализации результатов спортивных тренировок // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 71–75. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-71-75>.

Original article

Ilya V. Lobov¹

Mariya S. Krasavina²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

A SYSTEM FOR VISUALIZING THE RESULTS OF SPORTS TRAINING

In the modern sports world, the importance of effective planning and analysis of the training process is becoming increasingly clear. Given the growing interest in a healthy lifestyle and achieving high results in sports, visualization of training data plays a key role. This article discusses the benefits of data visualization for athletes and coaches, provides practical examples of successful implementation of this approach, and outlines the prospects for its development. The authors discuss visualization techniques, including graphs and three-dimensional modeling, and their application in the analysis and monitoring of the training process. Special attention is paid to the individualization of training programs and the potential of data visualization to increase the effectiveness of training and achieve better results in sports.

Keywords: system, sports, swimming, athletes' training, digitalization of sports, training generation, visualization of results

© Лобов И. В., Красавина М. С., 2024

For citation: Lobov I. V., Krasavina M. S. A system for visualizing the results of sports training. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 71–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-71-75>.

Введение. В настоящее время вопросы эффективного планирования и анализа тренировочного процесса становятся все более значимыми в спортивной деятельности, особенно с учетом растущего интереса общества к здоровому образу жизни и достижению высоких результатов в спорте [1]. В этом контексте визуализация данных о тренировках приобретает ключевое значение, предоставляя спортсменам и тренерам эффективный инструмент для анализа и оптимизации тренировочных программ. В данной статье мы рассмотрим преимущества визуализации данных для спортивной практики на примере системы «ЭвоСпорт», а также обозначим перспективы ее дальнейшего развития.

Обзор методов визуализации результатов тренировок. Визуализация результатов тренировок играет важную роль в анализе и мониторинге спортивной деятельности. Существует множество методов визуализации, которые могут быть применены для отображения различных аспектов тренировочного процесса. От выбора метода зависит эффективность интерпретации данных и принятие обоснованных решений тренером и спортсменом.

Одним из наиболее распространенных методов визуализации результатов тренировок является график (рис. 1). Графики позволяют наглядно отображать динамику изменения параметров тренировочной активности, таких как пульс, скорость, расстояние, время и др. Они могут быть представлены в виде временных рядов, диаграмм рассеяния, столбчатых гистограмм и других форм [2].

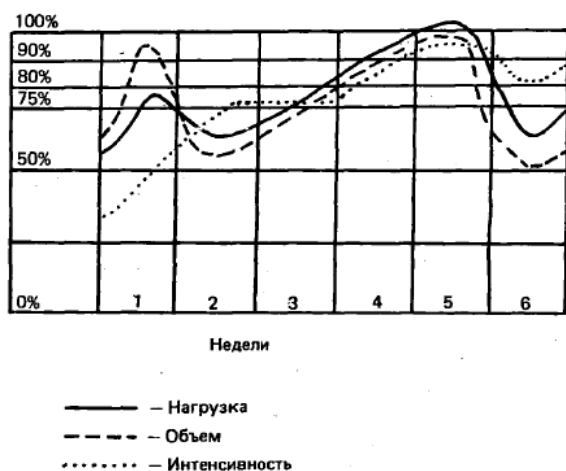


Рис. 1. Графическое представление тренировочного цикла

Кроме того, существуют методы визуализации, которые используют техники трехмерного моделирования и анимации. Благодаря этим методам есть возможность детально исследовать движение и технику выполнения упражнений, а также взаимосвязь между различными параметрами тренировки (рис. 2).

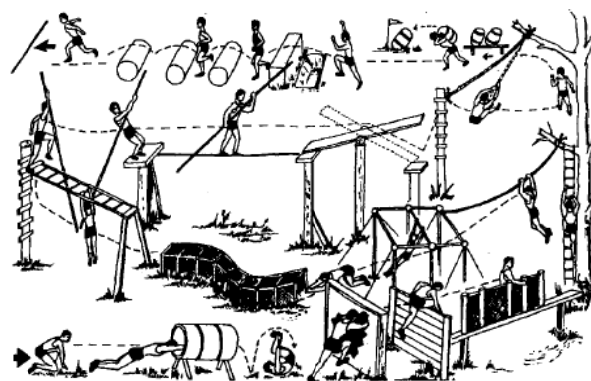


Рис. 2. Моделирование прохождения спортивной полосы препятствий

При изучении литературы о тренировочном процессе в плавании выясняется, что эффективность пловцов зависит от рационального распределения нагрузки на разные мышечные группы в различные периоды тренировок. Тренировочный процесс включает в себя микроциклы (недельные или околонедельные), мезоциклы (продолжительностью от 2 до 6 недель) и макроциклы (длительностью от нескольких месяцев до нескольких лет) [3]. Каждый пловец проходит через все три уровня подготовки. Важно, чтобы тренер корректировал нагрузку в соответствии с показателями скорости и частоты сердечных сокращений, а также имел индивидуальный план тренировок для каждого спортсмена (рис. 3–5). Универсальные планы подготовки недостаточно эффективны, поэтому была разработана система «ЭвоСпорт» [4], в которой представлены планы тренировок, учитывающие индивидуальные особенности каждого спортсмена группы.

Преимущества визуализации для спортсменов и тренеров. Визуализация результатов тренировок предоставляет спортсменам и тренерам ценные инструменты для анализа и улучшения спортивной деятельности. Одним из главных преимуществ визуализации является наглядность представления информации, что позволяет быстро и точно оценить эффективность тренировочного процесса и выявить области для улучшения.

Другим важным преимуществом является возможность отслеживания динамики изменения показателей тренировочной активности на протяжении времени. Это позволяет спортсменам и тренерам выявить тенденции и паттерны в тренировочном процессе, что помогает оптимизировать планы тренировок и достичь лучших результатов.

Кроме того, визуализация данных позволяет обнаруживать скрытые взаимосвязи и закономерности между различными параметрами тренировки, что может привести к новым открытиям и методикам тренировочного процесса.

Практические примеры визуализации данных тренировок. Практическое применение визуализации данных тренировок широко распространено в различных областях спорта. Например, в плавании тренеры могут использовать графики изменения скорости и темпа пловца на различных участках дистанции для оценки эффективности техники плавания и оптимизации тренировочных программ. В разрабатываемой системе «ЭвоСпорт» мы представляем результаты тренировки так, как показано на рисунке 6.

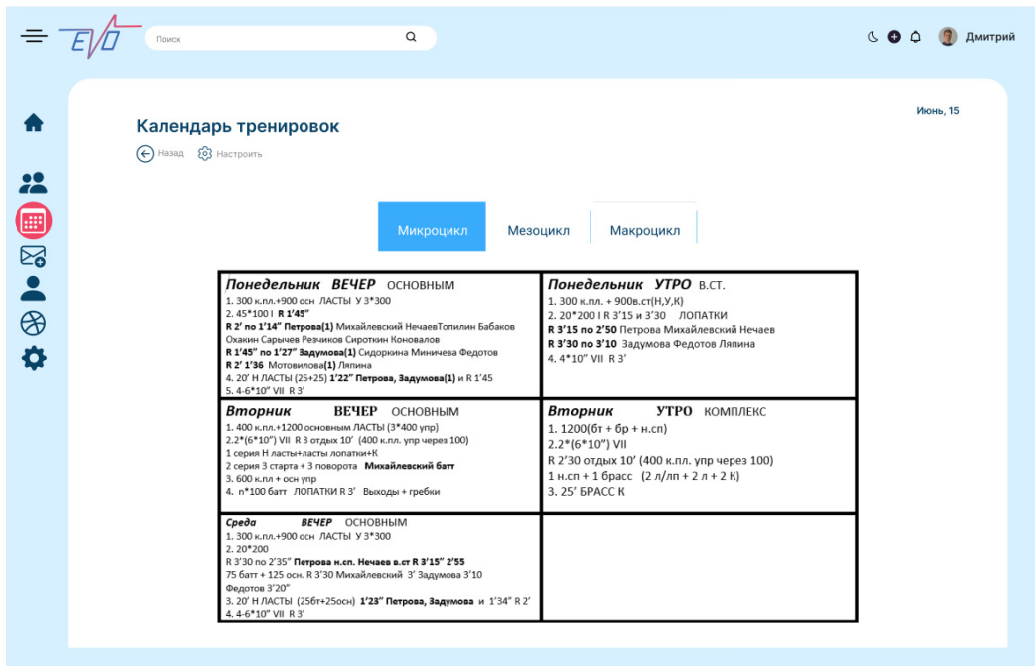


Рис. 3. План тренировок на микроцикл

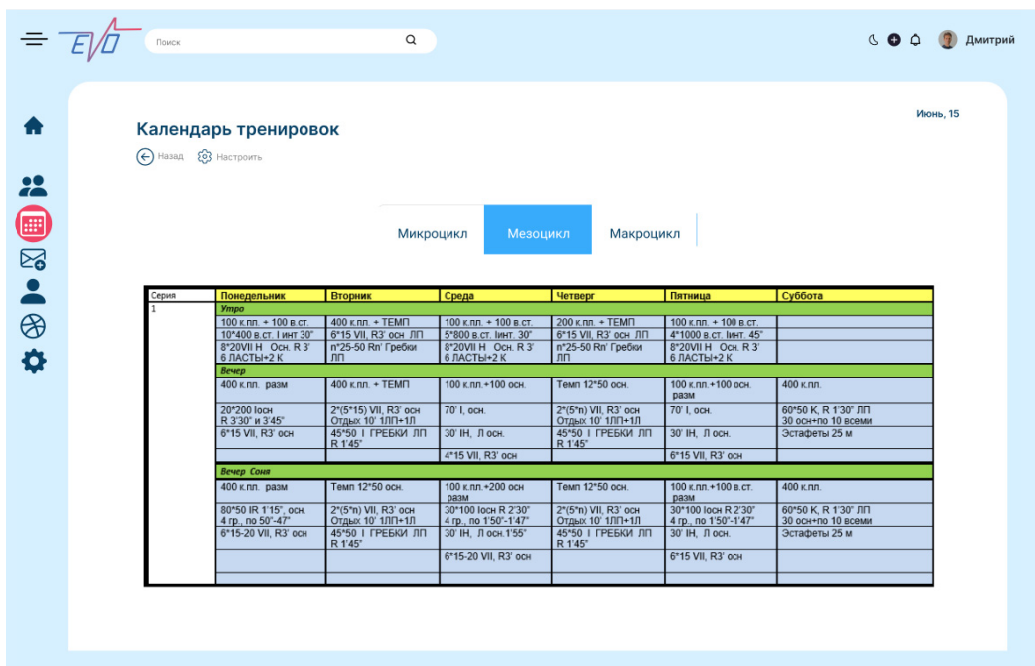


Рис. 4. План тренировок на мезоцикл

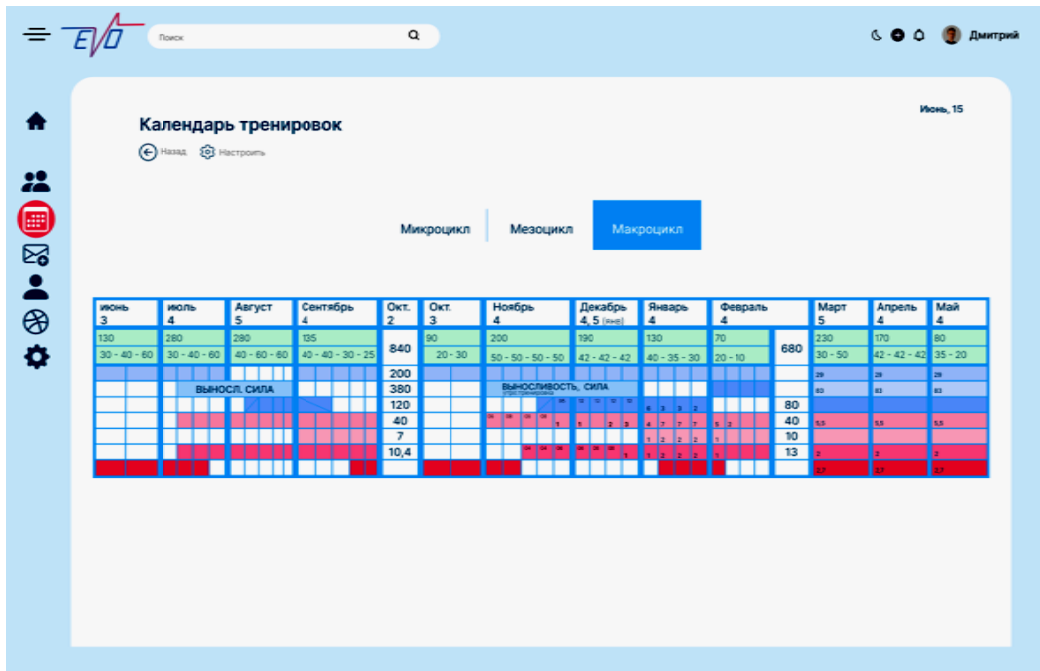


Рис. 5. План тренировок на макроцикл

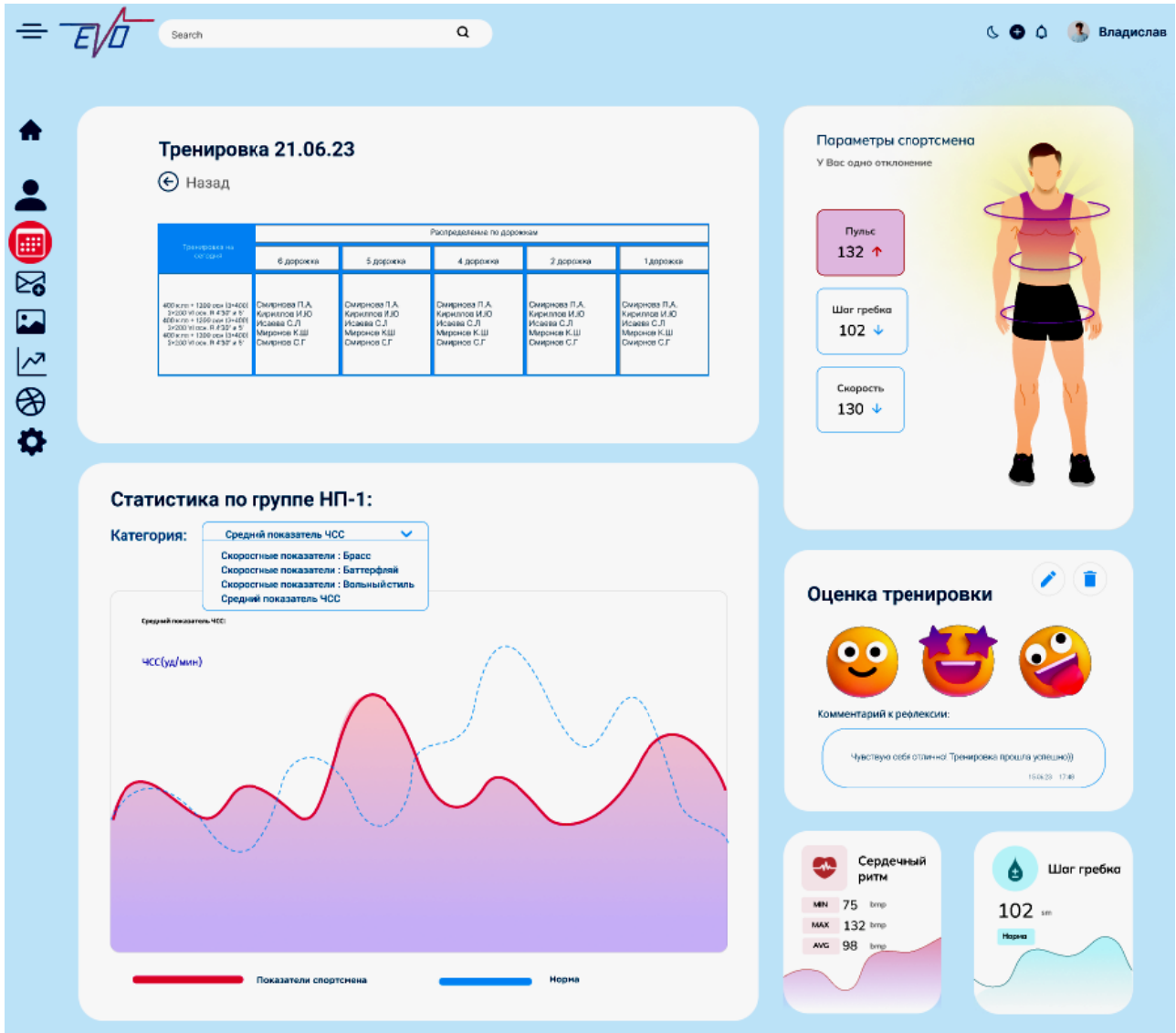


Рис. 6. Представление результатов прошедшей тренировки

На текущем этапе система «ЭвоСпорт» использует преимущественно двухмерные графики и диаграммы, так как они обеспечивают более простую и оперативную интерпретацию данных тренировок. Интеграция трехмерных методов визуализации планируется на следующих этапах разработки для углубленного анализа техники выполнения упражнений.

В фитнесе визуализация данных о пульсе, калориях и других параметрах позволяет спортсменам отслеживать свой прогресс и мотивировать себя к достижению новых целей [5].

Разработанная система преимущественно ориентирована на плавание, однако в перспективе ее подходы могут быть адаптированы для других циклических видов спорта. Адаптация для командных видов спорта требует дальнейшего исследования и проработки.

Заключение. Итак, мы обсудили важность визуализации результатов тренировок

в спортивной практике и ее преимущества как для спортсменов, так и для тренеров. Мы представили обзор основных методов визуализации, рассмотрели практические примеры их применения, а также перспективы развития данной области. Примеры успешной реализации визуализации результатов тренировок в спортивной практике позволяют увидеть конкретные практические выгоды от использования таких подходов.

Дальнейшее развитие в области визуализации результатов тренировок предполагает углубление исследований в области эффективности различных методов визуализации, а также разработку новых подходов, учитывающих специфику различных видов спорта и потребности спортсменов. Это позволит создать более эффективные инструменты для анализа и оптимизации тренировочного процесса, что в конечном итоге приведет к улучшению спортивных результатов и повышению эффективности тренировок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегия развития физической культуры и спорта в Российской Федерации на период до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ от 24 ноября 2020 г. № 3081-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/Rr4JTrKDQ5nANTR1Oj29BM7zJBHXM05d.pdf> (дата обращения: 09.05.2024).
2. Озолин Н. Г. Настольная книга тренера: Наука побеждать. М. : Астрель : АСТ, 2004. 863 с.
3. Тренировочные циклы и зоны // SafonovCoach. URL: <https://www.safonovcoach.ru/blog/energyswim> (дата обращения: 06.05.2024).
4. Формирование ролей информационной системы построения плана спортивных тренировок в циклическом виде спорта (плавание) / М. С. Красавина, П. В. Рыбина, Е. И. Савченко, И. В. Лобов, А. Л. Репин, А. А. Рыжков, Д. Н. Соловьев // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2023. № 3(19). С. 15–22. URL: <http://ismm-irgups.ru/toma/3-19-2023> (дата обращения: 12.05.2024).
5. Янсен П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость. Мурманск : Тулома, 2006. 160 с.

REFERENCES

1. Strategy for the development of physical culture and sports in the Russian Federation until 2030*: Government of the Russian Federation Decree dated November 24, 2020. No. 3081-r. URL: <http://static.government.ru/media/files/Rr4JTrKDQ5nANTR1Oj29BM7zJBHXM05d.pdf> (accessed 09.05.2024). (In Russ.)
2. Ozolin N. G. Coach's Handbook: The Science of Winning. Moscow, Astrel, AST Publ., 2004. 863 p. (In Russ.)
3. Training cycles and zones*. URL: <https://www.safonovcoach.ru/blog/energyswim> (accessed 06.05.2024).
4. Krasavina M. S., Rybina P. V., Savchenko E. I., Lobov I. V., Repin A. L., Ryzhkov A. A., Solov'ev D. N. Formation of roles of the information system for building a plan of sports training in cyclic sports (swimming) *Informacionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami* [Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems]. 2023;3(19):15–22. URL: <http://ismm-irgups.ru/toma/3-19-2023> (accessed 12.05.2024). (In Russ.)
5. Yansen P. Heart rate, lactate, and endurance training. Murmansk, Tuloma Publ., 2006. 160 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 6.06.2024
Принята к публикации 30.10.2024

* Перевод названия источника выполнен авторами статьи / Translated by author's of the article

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Направляемый в редакцию материал должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других изданиях.

Материалы следует представлять в редакцию по электронной почте: e-mail: tik@kosgos.ru (для Смирновой Светланы Геннадьевны).

Для отправки статьи в редакцию можно воспользоваться сервисом «ПОДАТЬ СТАТЬЮ» на официальном сайте журнала tik.ksu.edu.ru. После заполнения всех полей необходимо ознакомиться с лицензионными условиями и поставить в соответствующем окне отметку о согласии с условиями публикации, затем прикрепить оформленную строго по требованиям журнала статью в форматах *.doc (*.docx), *.pdf.

В течение недели статья будет рассмотрена на соответствие всем формальным показателям, после чего автору будет направлен ответ о приеме/неприеме статьи.

Убедительная просьба соблюдать нижеприведенные требования и порядок построения статьи, от этого зависит срок ее опубликования!

1. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word (*.doc, *.docx, *.rtf). В качестве имени файла указывается фамилия, имя и отчество автора русскими буквами (например: Иванов Иван Иванович.doc). Также необходимо приложить файл статьи в формате *.pdf.
2. Все статьи проходят проверку на обнаружение текстовых заимствований в системе «Антиплагиат». Редакция принимает статьи, оригинальность которых составляет не менее 80 %. При проверке используется сайт: <http://www.antiplagiat.ru>.
3. Компьютерный набор статьи должен удовлетворять следующим требованиям: формат – А4; поля – по 2,5 см со всех сторон; гарнитура (шрифт) – Times New Roman; кегль – 14; межстрочный интервал – 1,5; абзацный отступ – 1,25 см.
4. Максимальный объем текста статьи с аннотацией, ключевыми словами, библиографическим списком и переводами – не более 14 страниц машинописного текста.
5. Аннотация к статье должна быть объемом 70–120 слов. Количество ключевых слов – от 7 до 10.
6. ФИО автора, название учебного заведения, организации (место учебы, работы), название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть переведены на английский язык.
7. Информация о финансировании (ссылки на гранты и пр.) указывается в круглых скобках сразу после названия статьи на русском языке.
8. Список источников оформляется по ГОСТ Р 7.05–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» и формируется в порядке упоминания. Ссылки в тексте статьи оформляются квадратными скобками с указанием номера издания по списку источников [5]. Если в тексте дается прямое цитирование, то в отсылке после номера источника указывают номер страницы, на которой содержится цитируемый фрагмент. Например: [1, с. 256], [2, т. 5, с. 25–26].
9. Единицы измерения приводятся в соответствии с Международной системой единиц (СИ).
10. Рисунки, схемы, диаграммы должны быть размещены в тексте статьи в соответствии с логикой изложения. В тексте статьи должна даваться ссылка на конкретный рисунок, например (рис. 2). Схемы выполняются с использованием штриховой заливки или в оттенках серого цвета; все элементы схемы (текстовые блоки, стрелки, линии) должны быть сгруппированы. Каждый рисунок должен иметь порядковый номер, название и объяснение значений всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах jpg, tif (Grayscale – оттенки серого, разрешение – не менее 300 dpi).
11. Таблицы. Каждую таблицу следует снабжать порядковым номером и заголовком. Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе Microsoft Word, располагаться в тексте статьи в соответствии с логикой изложения. В тексте статьи должна даваться ссылка на конкретную таблицу, например (табл. 2). Структура таблицы должна быть ясной и четкой, каждое значение должно находиться в отдельной строке (ячейке таблицы). Все графы в таблицах должны быть озаглавлены. Одновременное использование таблиц и графиков (рисунков) для изложения одних и тех же результатов не допускается. В таблицах возможно использование меньшего кегля, но не менее 10.

12. Формулы выполняются только в редакторе MS Equation 3.0.
13. Десятичные дроби имеют в виде разделительного знака запятую (0,78), а при перечислении десятичных дробей каждая из них отделяется от другой точкой с запятой (0,12; 0,087).

Построение статьи

Порядок размещения материала должен соответствовать представленному ниже списку.

1. Тип статьи (научная статья, обзорная статья, дискуссионная статья, краткое сообщение).
2. Индекс УДК.
3. DOI (окончательно ставится в редакции).
4. Имя, отчество, фамилия автора (полностью).
5. Полное название организации, город, страна (в именительном падеже) – место работы или учебы автора.
6. Адрес электронной почты каждого автора (без слов e-mail).
7. Открытый идентификатор каждого автора (ORCID).
8. Почтовый адрес с индексом (для последующей отправки журнала) и контактный телефон.
9. Название статьи (сокращения в названии недопустимы).
10. Ссылка на грант или источник финансирования – если есть.
11. Аннотация (70–120 слов).
12. Ключевые слова (7–10 слов или словосочетаний, несущих в тексте основную смысловую нагрузку).
13. Тип статьи, ФИО автора, название учебного заведения, организации (место учебы, работы), название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.
14. Текст статьи.
15. Список источников (формируется в порядке упоминания, нумеруется).
16. References.

Рекомендации по транслитерации

Перечень затекстовых библиографических ссылок на латинице (“References”) представляется согласно стилю оформления (Vancouver Style), принятому в редакции журнала.

К каждой библиографической записи необходимо найти верифицированный (используемый автором цитируемого источника) перевод названия статьи и названия журнала. Чаще всего перевод названия статьи, предложенный автором или редакторами журнала, можно найти на странице журнала в сети Интернет, или на странице журнала в РИНЦ на сайте <http://elibrary.ru>. Если такое название не удастся найти, но следует перевести название на английский язык самостоятельно, после такого перевода необходимо поставить звездочку* и в конце списка оставить примечание: **Перевод названия источника выполнен автором статьи / Translated by author of the article*. Звездочка ставится после каждого названия, переведенного лично автором статьи. Если перевод названия был найден в верифицированных источниках, звездочку ставить не надо.

Транслитерация производится с помощью автоматического транслитератора, например, <http://translit-online.ru>. Важно использовать системы автоматического перевода кириллицы в романский алфавит; не делать транслитерацию вручную.

При подготовке раздела References транслитерируются:

- фамилия, инициалы автора (если нет автора, то транслитерируется ФИО редактора, которые берутся из сведений об ответственности, размещенных в русскоязычном описании за одной косой чертой);
- название журнала/сборника;
- название места издания;
- название издательства.

Транслитерированные списки необходимо переработать с учетом следующих требований.

Все сведения об авторах статьи размещаются в начале библиографической записи (даже если авторов более трех). Перед инициалами в фамилиях запятая не ставится. Если в статье цитируется источник без авторства, то в начало библиографической записи выносятся данные о составителе издания или других лицах, упомянутых в сведениях об ответственности (с указанием роли в скобках после имени), *например: / ред. И. И. Иванов → Ivanov I. I. (ed.)*.

Разделительные знаки между полями:

- при описании книг: London, Taylor & Francis, 2006. 216 p.
- при описании статей: 2008;451(7177):397–399.

Знаки препинания (в том числе кавычки) должны использоваться по правилам английского языка (необходимо заменять кавычки «елочки» на “лапки”).

Схема описания статьи:

- авторы (транслитерация);
- перевод названия статьи на английский язык;
- название русскоязычного источника (транслитерация) курсивом;
- перевод названия источника на английский язык в квадратных скобках;
- выходные данные (только цифровые);
- указание на язык книги (In Russ.). Приводится только для русскоязычных источников.

Например:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Technical and economic optimization of hydrofracturing design. *Neftyanoe khozyaistvo* [Oil Industry]. 2008;11:54–57. (In Russ.)

Схема описания книги в целом (монографии и т. п.):

- авторы (транслитерация);
- перевод названия монографии на английский язык;
- выходные данные: место издания на английском языке, издательство на английском языке, если это организация (Moscow St. Univ. Publ.), и транслитерация, если издательство имеет собственное название с указанием на английском языке, что это издательство (Nauka Publ.);
- количество страниц в издании (500 p.);
- указание на язык книги (In Russ.).

Например:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p. (In Russ.)

Hindelang S., Krajewski M., eds. Shifting paradigms in international investment law: More balanced, less isolated, increasingly diversified. Oxford, Oxford University Press, 2015. 432 p.

**Подробную информацию по оформлению статьи
и составлению списка источников см.:**

<https://tik.kosgos.ru/documents/journal/requirements.ru.pdf>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

ТЕХНОЛОГИИ И КАЧЕСТВО

2024 – № 4(66)

ДЕКАБРЬ

Рецензируемый периодический научный журнал

Учредитель и издатель:

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Костромской государственный университет»

Главный редактор

СМИРНОВА СВЕТЛАНА ГЕННАДЬЕВНА

кандидат технических наук, доцент

Издается с 1999 года

Журнал зарегистрирован

*Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Регистрационный номер: ПИ № ФС 77-75262 от 7.03.2019 г.*

16+

Подписной индекс 94269 в каталоге «Пресса России»

Редактор	О. В. Тройченко
Компьютерная верстка	Н. И. Поповой
Перевод	С. А. Грозовского

Издательско-полиграфический отдел
Костромского государственного университета

Подписано в печать 2.12.2024. Дата выхода в свет 18.12.2024. Формат бумаги 60×90 1/8.
Печать трафаретная. Печ. л. 10. Заказ 171. Тираж 500.
Цена свободная.

Адрес учредителя, издателя и редакции журнала:
156005, Костромская обл., г. Кострома, ул. Дзержинского, 17/11
tik@kosgos.ru

Отпечатано ИПО КГУ
156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, 17/11
Т. 63-49-00, доб. 3110. E-mail: umpm@kosgos.ru

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны