

На правах рукописи



ХАЛИЛОВА АЛИНА АДИКОВНА

**ВОДООТТАЛКИВАЮЩИЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ
УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ОДЕЖДЫ**

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Научный руководитель: **Тихонова Наталья Васильевна**, доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Владимирцева Елена Львовна**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», профессор кафедры химической технологии волокнистых материалов;
Шустов Юрий Степанович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», профессор кафедры материаловедения и товарной экспертизы.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Иваново.

Защита диссертации состоится «04» июня 2026 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.12, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=583196>.

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, ФГБОУ ВО «КНИТУ», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.312.12. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «__» апреля 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Н.В. Тихонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях современных экономических реалий и роста производственных рисков разработка рабочей одежды (РО), адаптированной к различным условиям труда и видам производственных опасностей, приобретает стратегическое значение. Такой вид одежды должен надёжно защищать от влаги и кратковременного воздействия открытого пламени, сохранять воздухопроницаемость и гигроскопичность, обеспечивать достаточный комфорт при эксплуатации и при этом оставаться экономически доступным. Однако существующие разработки отличаются ограниченным ассортиментом волокистого состава и специальных пропиток, которые либо не в полной мере удовлетворяют одновременно требованиям влагостойкости и огнестойкости, либо производятся с использованием импортных технологий и компонентов, что повышает издержки и снижает доступность качественной продукции. Проектирование универсальной рабочей одежды (УРО) представляет собой комплексную задачу, включающую выбор базового волокистого состава и функциональных добавок, разработку технологических режимов обработки, а также создание эргономичной конструкции изделий. Приоритетным направлением является разработка текстильных материалов, модифицированных водоотталкивающими и защитными пропитками, придающими устойчивые гидрофобные свойства, сохраняющими при этом ключевые эксплуатационные характеристики материала. Разработка данной инновационной УРО позволит создавать конкурентоспособную продукцию в соответствии с отечественными и международными стандартами, повысить безопасность труда, оптимизировать ресурсозатраты и укрепить позиции российских предприятий на внутреннем и внешнем рынках, решая ключевые социально-экономические задачи современного производства.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в развитие гидрофобных текстильных материалов внесли отечественные ученые и исследователи Киселев А.М., Измайлов Б.А., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Кольцова Ю.А., Кумеева Т.Ю., Климов В.В., Соболевский М.В., Воронков М.Г., Пашенко А.А., Семянников В.А., Голиков И.В., Евсюкова Н.В., зарубежные ученые: Xu L., McHale G., Park S.

Несмотря на значительное количество исследований, направленных на изучение отдельных защитных свойств текстильных материалов, отсутствуют научные работы, исследующие комплексное воздействие совокупности компонентов, обеспечивающих одновременно защиту от разных видов рисков при минимизации экономических издержек.

Работа выполнена в Казанском национальном исследовательском технологическом университете. Автором при работе над диссертацией использовались методики и аналитическое оборудование центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы» (ЦКП «Нанотехнологии и наноматериалы») и комплексная лаборатория «Наноаналитика» (ЛК Наноаналитика) ФГБОУ ВО «КНИТУ».

В диссертационной работе изложены результаты научных исследований автора с 2016 по 2026 гг. в области разработки текстильных материалов с водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина для универсальной рабочей одежды.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности: п.2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП; п.3. Технологии (в том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП; п.19. Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства ИТЛП;

Цели и задачи. Целью работы является разработка водоотталкивающих текстильных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами для универсальной рабочей одежды с применением композиции на основе силана и хлорпарафина.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение анализа современного состояния и перспектив развития производства водоотталкивающих текстильных материалов для рабочей одежды, классификации вредных производственных факторов, действующих в различных отраслях промышленности.

2. Выбор и обоснование объектов, методов исследования структуры, методик и компонентов для получения водоотталкивающих текстильных материалов.

3. Экспериментальные исследования влияния композиции на основе силана и хлорпарафина на эксплуатационные и потребительские свойства водоотталкивающих текстильных материалов.

4. Разработка технологии изготовления водоотталкивающих текстильных материалов для производства универсальной рабочей одежды.

Научная новизна работы.

1. Разработана концепция создания универсальной рабочей одежды с улучшенными эксплуатационными свойствами, адаптированной к различным условиям труда, заключающаяся в обоснованной классификации видов профессиональной деятельности и присущих им вредных производственных факторов, что позволило осуществить научный подход к выбору материала и аппретирующего состава, обеспечивающих необходимые функциональные и защитные свойства.

2. Разработана водоотталкивающая композиция на основе силана и хлорпарафина, придающая материалу повышенные значения краевого угла смачивания (на 32–39%); водоупорность (на 80–93 %); огнестойкость (на 100–120%) за счет формирования модифицирующего слоя на поверхности целлюлозных волокон.

3. Установлен механизм закрепления водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина на целлюлозосодержащих текстильных материалах, заключающийся в фиксации продуктов гидролиза аминопропилтриэтоксисилана на метилольных группах целлюлозы, а также закреплении хлорпарафина путем нуклеофильного замещения хлора аминогруппой силана, а также процессами физической адсорбции.

4. Установлено, что целлюлозосодержащие текстильные материалы, обработанные водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина обладают выраженными фунгицидными и антибактериальными свойствами, а также улучшенной устойчивостью комплекса свойств к эксплуатационным воздействиям и стирке.

5. Разработаны подходы к усовершенствованию технологии получения водоотталкивающих текстильных материалов для универсальной рабочей одежды с улучшенными огнезащитными свойствами, воздухопроницаемостью и гигиеническими характеристиками, включающей применение отделочной композиции на основе силана и хлорпарафина.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в раскрытии закономерностей влияния водоотталкивающей пропитки на основе силана и хлорпарафина на свойства текстильных материалов и установлении механизма закрепления композиции на целлюлозосодержащих материалах.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. Разработана экспериментальная методика обработки текстильных материалов водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина.

2. Установлены технологические параметры обработки текстильных материалов водоотталкивающей композицией, обеспечивающие устойчивые гидрофобные и огнезащитные свойства: водная композиция содержит 50 ± 5 г/л силана марки А-1100, 25 ± 5 г/л хлорпарафина марки ХП-470; пропитка ткани осуществляется при температуре 40°C , сушка – при температуре 110°C , термофиксация – при температуре 140°C .

3. Получены водоотталкивающие текстильные материалы для универсальной рабочей одежды, обработанные композицией на основе силана и хлорпарафина, обладающие повышенной водоупорностью, огнестойкостью, фунгицидными и антибактериальными свойствами.

4. Усовершенствована технология производства текстильных материалов с водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина для универсальной рабочей одежды, обеспечивающая улучшение эксплуатационных свойств.

Объекты и методы исследований.

В качестве объектов исследования выбраны: целлюлозосодержащий текстильный материал «Саржа» из 100% хлопка, саржевого переплетения, арт. Ц4098 производства ООО «Балтийский текстиль», г. Санкт-Петербург; целлюлозосодержащий текстильный материал «Брезент» из смесового сырья (60% хлопок, 40% лен) полотняного переплетения, арт. 11135 производства ООО «Ткани-ТЕКС», г. Иваново; аминокпропилтриэтоксисилан марки А-1100 и г-глицидилоксипропилтриметоксисилан марки А-187 производства ООО «Пента-91», г. Москва; парафин хлорированный марки ХП-470, АО «КАУСТИК», г. Волгоград. В качестве аналогов для проведения сравнительного анализа использовали следующие материалы: «Саржа-240» из 100% хлопка, саржевого переплетения с ВО пропиткой, ООО «Балтийский текстиль», г. Санкт-Петербург; «Премьер Cotton

250» из 100% хлопка, саржевого переплетения с ВО пропиткой, ГК «Чайковский текстиль», г. Чайковский; «Канвас» из 100 % хлопка, саржевого переплетения с ВО пропиткой, Китай; «Брезент» из 60% хлопка, 40% льна, полотняного переплетения с ВО пропиткой, ООО «Балтийский текстиль», г. Санкт-Петербург.

Для исследования показателей комплекса свойств водоотталкивающих текстильных материалов (ВТМ) использовались стандартные и специальные методики. Водоупорность определяли по ГОСТ Р 51553-99, водопоглощение по ГОСТ 3816-81, испытания при удлинении и сопротивление материалов раздиру – по ГОСТ 3813-72, измерение напряженности электростатического поля – по ГОСТ 32995-2014, огнестойкость – по ГОСТ Р 12.4.200-99, гигроскопичность и влагоотдачу – по ГОСТ 3816-81, определение паропроницаемости – по ГОСТ 22900-78, исследование воздухопроницаемости – по ГОСТ ISO 9237-2013, определение антибактериальной активности – по ГОСТ Р ИСО 2074–2012.

В рамках исследования структуры и физико-химических свойств компонентов, входящих в состав ВТМ использованы следующие аналитические методики: ИК-Фурье спектроскопия, конфокальная лазерная сканирующая микроскопия, комплексный дифференциальный термический анализ (ТГ-ДТГ-ДТА).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Концепция создания универсальной рабочей одежды с улучшенными эксплуатационными свойствами, обеспечивающей защиту от комплекса производственных факторов.
2. Методика получения текстильных материалов, обработанных водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина.
3. Результаты экспериментальных исследований влияния водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина на значения показателей эксплуатационных свойств текстильных материалов.
4. Механизм закрепления водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина на текстильном материале.
5. Технология производства текстильных материалов, обработанных водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена проведением испытаний по утвержденным методикам, регламентированным ГОСТ и использованием высокоточного современного оборудования для измерения физико-химических свойств, а также сопоставлением полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными других авторов. Анализ экспериментальных данных проводился с помощью методов математической статистики и программного обеспечения «Statistica 10.0».

Апробация работы и публикации. Результаты работы обсуждались на: 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху» (Курск, 2019); Международной научно-практической конференции «Текстильная химия: традиции и новации-2019» (Иваново, 2019); Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий

текстильной и легкой промышленности» (Казань, 2019); XVI, XVIII, XIX, XX Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности» (Казань, 2020, 2022-2024); E3S Web of conferences «2020 Topical problems of agriculture, civil and environmental engineering, tracee 2020» (Москва, 2020); XIII International scientific conference «Architecture and construction 2020» (Новосибирск, 2020); Международной научно-практической конференции «Лёгкая промышленность: проблемы и перспективы» (Омск, 2022); I Всероссийской научной конференции с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности» (Казань, 2023); Всероссийском молодежном конкурсе ЛЕГПРОМНАУКА, проводимом в рамках XXVII МНПФ SMARTEX и проекта «Акселератор молодой науки легпрома» (Иваново, 2024); VII Международной научно-практической конференции «Современные пожаробезопасные материалы и технологии» (Иваново, 2024).

Личный вклад автора заключается в последовательном выполнении ключевых этапов исследования: формулировании целей и задач, подборе и обосновании методик, проведении экспериментальных работ, а также анализе, интерпретации, обработке и обобщении экспериментальных данных. На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации по производству ВТМ, обработанных ВО композицией на основе силана и хлорпарафина. Основные выводы исследования опубликованы автором в ведущих отечественных научных журналах.

Публикации. Результаты работы отражены в 22 печатных работах, в том числе в 6 статьях, входящих в перечень научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в 3 статьях в научных журналах, индексируемых международной базой данных Scopus, остальные – в материалах конференций различного уровня

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 187 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 24 таблиц. В тексте приведены ссылки на 195 литературных источников.

Выражаю глубокую благодарность профессору, д.т.н Вознесенскому Эмилию Фаатовичу, профессору, д.т.н. Лутфуллиной Гульназ Гусмановне, доценту, к.т.н. Латфуллину Ильфату Ильдаровичу, к.т.н. Сайфуллиной Эльмире Фаритовне, профессору, д.т.н. Каралину Эрнесту Александровичу за помощь в определении направления исследования и обсуждении результатов работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, поставлена цель и определены задачи для ее достижения, представлены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведена структура диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор современного состояния рынка средств индивидуальной защиты и дана систематизация отраслей экономики, видов профессиональной деятельности и соответствующих вредных производственных факторов. Проведён анализ современных водоотталкивающих целлюлозосодержащих текстильных материалов, используемых для изготовления рабочей одежды, и их основных эксплуатационных характеристик. Рассмотрены современные способы гидрофобизации в текстильной промышленности, оценка их эффективности и экономической целесообразности. Подробно проанализирована гидрофобная отделка целлюлозосодержащих тканей с использованием кремнийорганических соединений, в том числе механизмы их взаимодействия с волокном и влияние технологических параметров на формирование устойчивого гидрофобного слоя. На основе проведенного анализа сформулированы основные цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе обоснован выбор объектов исследования и подробно изложены методики их испытаний: приведены подходы к определению защитных и эксплуатационных свойств водоотталкивающих текстильных материалов. Описаны инструментальные методы и оборудование для анализа состава и микроструктуры образцов. Представлены статистические методы обработки экспериментальных данных.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований, посвящённых изучению влияния водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина на гидрофобные и огнезащитные свойства текстильных материалов.

На первом этапе проведен сравнительный анализ двух видов кремнийорганических соединений: аминопропилтриэтоксисилан марки А-1100 и g-глицидилоксипропилтриметоксисилан марки А-187. Влияние экспериментальных водоотталкивающих составов на основе силана А-1100 и А-187 на эксплуатационные свойства опытных образцов, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты влияния обработки текстильных материалов водоотталкивающим составом на основе силанов марок А-1100 и А-187 на эксплуатационные свойства образцов

Наименование образцов	Наименование показателей			
	время впитывания капли, мин	краевой угол смачивания, град	водопоглощение, %	прочность на разрыв, Н
Контрольный образец саржи	1,3	82	29,5	387
Саржа (Силан А-187)	21,6	121	17,8	345
Саржа (Силан А-1100)	30	130	14,89	389
Брезент (Силан-А187)	23,9	124	15,4	601
Брезент (Силан А-1100)	30	130	13,2	631

Проведено исследование влияния водоотталкивающих составов на основе силанов марок А-1100 и А-187 на огнестойкость текстильных образцов, в связи

важностью данного показателя для разработки УРО. Полученные результаты представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Показатель огнестойкости текстильных материалов до и после обработки силинами марок А-1100 и А-187

Сравнительный анализ используемых компонентов показал неэффективность использования силана А-187 в целях получения водоотталкивающего текстильного материала из-за снижения гидрофобных показателей по сравнению с силианом марки А-1100: краевой угол смачивания уменьшается на 4,6%; водопоглощения увеличивается на 15%, а также негативного влияния на прочностные характеристики. Силан А-1100, хотя и обладает высокой водоотталкивающей эффективностью, снижает огнестойкость текстильных материалов, что недопустимо для УРО.

Снижение показателя огнестойкости способствовало применению комплексного подхода в разработке пропиточного состава на основе силана А-1100 с введением дополнительных компонентов для обеспечения оптимального баланса водоотталкивающих и огнезащитных свойств.

На втором этапе исследования на основе литературного анализа в области антипиренов разработаны рецептуры водоотталкивающих композиций на основе силана и хлорпарафина. Оптимальное содержание компонентов определялось экспериментальным путем по показателям времени впитывания капли (рисунок 2) и краевого угла смачивания (рисунок 3).

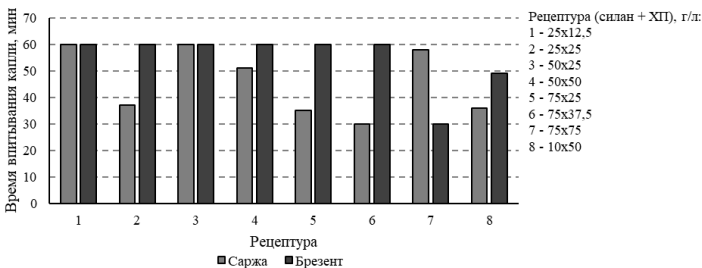


Рисунок 2 – Влияние концентрации составов на показатель времени впитывания капли обработанных образцов саржи и брезента

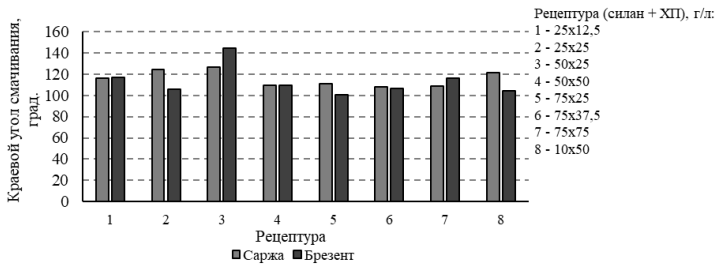


Рисунок 3 – Влияние концентрации составов на показатель краевого угла смачивания обработанных образцов саржи и брезента

С помощью программного комплекса Statistica 10.0 проведен статистический анализ и планирование эксперимента, что позволило определить следующие составы для достижения требуемых гидрофобных характеристик материалов:

- для саржи: №1 (25,0 г/л А-1100 на 12,5 г/л ХП), №3 (50,0 г/л А-1100 на 25,0 г/л ХП);

- для брезента: №1 (25,0 г/л А-1100 на 12,5 г/л ХП), №3 (50,0 г/л А-1100 на 25,0 г/л ХП) и №4 (25,0 г/л А-1100 на 12,5 г/л ХП).

По отобранным рецептурам проведено исследование показателя водоупорности и водопоглощения. Для оценки эффективности разработанных композиций проведен сравнительный анализ с промышленными материалами-аналогами. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика рецептур ВО композиции

Наименование образцов	Наименование показателя	
	водоупорность, см.вод.ст	водопоглощение, %
Контрольные образцы:		
«Саржа»	1,33	83,60
«Брезент»	2,40	63,30
Экспериментальные образцы:		
«Саржа» (рецептура 1)	17,95	27,10
«Саржа» (рецептура 3)	19,40	28,20
«Брезент» (рецептура 1)	9,07	34,40
«Брезент» (рецептура 3)	12,30	36,20
«Брезент» (рецептура 4)	9,99	38,60
Промышленные материалы-аналоги:		
«Саржа-240»	11,97	27,90
«Премьер Cotton 250»	20,31	30,90
«Канвас»	11,13	31,30
«Брезент»	10,07	44,80

Образцы, обработанные ВО композицией, показали: водоупорность – саржа в 15 раз выше по сравнению с контрольным и на 62 % – 74 % выше по сравнению с промышленными аналогами «Саржа-240» и «Канвас»; водоупорность брезента в 5 раз выше по сравнению с контрольным и на 22 % выше по сравнению с промышленным аналогом; оптимальная рецептура № 3. Водопоглощение саржи снижается более чем на 66 % (до 27,1 % и 28,2 % для рецептур № 1 и № 3); брезент – снижение на 39 %. Полученные данные подтверждают высокую эффективность

предложенной композиции для повышения водоотталкивающих свойств текстильных материалов.

Изучено влияние ВО композиции на основе силана и ХП на эксплуатационные и защитные характеристики текстильных материалов. Результаты исследования эксплуатационных характеристик текстильных материалов показали, что обработка ВО не оказывает негативного влияния на показатели прочности как по основе, так и по утку. Результаты защитных характеристик показали, что обработка материалов ВО композицией способствует повышению огнестойкости (рисунк 4) на 100% для образцов саржи и 120% для образцов брезента и обеспечению самозатухающих свойств материала, а также снижению уровня электростатической активности (для саржи – на 55,0%; для брезента – на 38,4%).

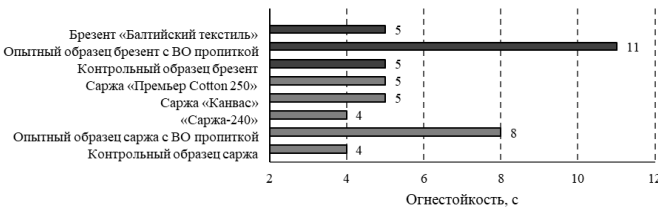


Рисунок 4 – Показатель огнестойкости текстильных материалов с ВО композицией на основе силана и ХП и материалов-аналогов

Связи с тем, что ВО пропитка может негативно повлиять на способность материала отводить влагу и пары, вызывая дискомфорт и снижая работоспособность, проведена оценка санитарно-гигиенических характеристик текстильных материалов: воздухопроницаемость, паропроницаемость, гигроскопичность, влагоотдача и антибактериальная активность текстильных материалов. Полученные результаты показали:

- воздухопроницаемость снижается на 6,8 % (саржа) и 12 % (брезент) по сравнению с контрольными образцами. По этому параметру образцы демонстрируют конкурентоспособные значения: «Саржа-240» – 19,11 мм/с, а «Канвас» и «Премьер Cotton 250» – на 69 % ниже, чем у обработанных материалов.

- паропроницаемость после обработки уменьшается на 4 % (саржа) и 8 % (брезент); эти показатели сопоставимы с промышленными аналогами («Премьер Cotton 250», «Брезент Балтийский текстиль») и на 8 % превышают «Саржу-240». Образец «Канвас» уступает обработанным образцам на 17 %.

- гигроскопичность экспериментальных образцов ниже на 14% (саржа) и 23 % (брезент) по сравнению с контрольными образцами, однако соответствуют в пределах требований ГОСТ 12.4.280-2014, который устанавливает минимальные требования к рабочей одежде (не менее 5 % нормативных показателей).

- показатель влагоотдачи обработанных образцов выше на 23 %, что свидетельствует о высокой эффективности отвода избыточной влаги и сохранении комфортного микроклимата.

Микробиологическое повреждение текстильных материалов представляет собой распространённый вид деградации, приводящей к существенным изменениям физико-химических свойств изделий и снижению их эксплуатационных качеств. Особенно значима проблема биостойкости для рабочей одежды, используемой в условиях повышенной влажности. Разрушение волокон часто обусловлено деятельностью микроорганизмов, использующих текстильные материалы как источник питания и продуцирующих вещества, способные разрушать структуру полимера. Проведенный микробиологический анализ выявил, что бактериальная обсеменённость исследуемых тканей варьирует от 10^3 до 10^6 КОЕ/г, при этом максимальное значение отмечено у промышленного образца брезента «Балтийский текстиль». Контрольный образец саржи оказался единственным, поражённым мицелиальными грибами ($1,0 \times 10^2$ КОЕ/г). Остальные образцы, включая обработанные водоотталкивающей композицией, плесени не содержали, хотя присутствовало некоторое разнообразие бактериальных форм. Отсутствие плесневого поражения в обработанных образцах, наряду с подавленным развитием микрофлоры, свидетельствует о выраженных фунгицидных свойствах разработанной водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина, эффективно защищающей целлюлозосодержащие ткани от разрушения микроорганизмами.

Механизм взаимодействия ВО композиции на основе силана и ХП на структуру и свойства текстильных материалов изучали в три этапа с помощью:

- ИК-Фурье-спектроскопии исходных компонентов и модельных образцов (рисунок 5) для идентификации химических связей и подтверждения формирования полисилоксановых структур;

- метода конфокальной микроскопии в отражённом свете исследована морфология поверхностного покрытия и распределение компонентов на волокнах, что позволило визуализировать покрытие и оценить его однородность (рисунок 6);

- комплексного дифференциального термического анализа для подтверждения влияния ВО композиции на основе силана и ХП на термическое поведение целлюлозосодержащих материалов, а также для установления механизмов термодеструкции обработанных материалов.

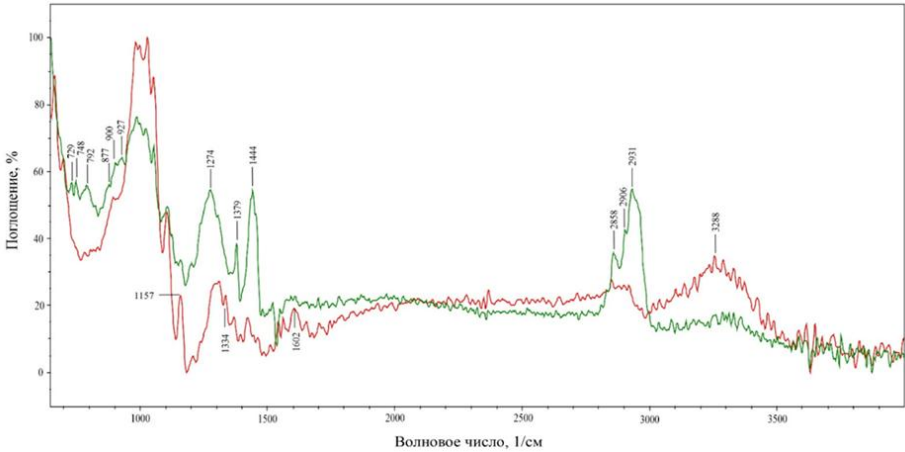
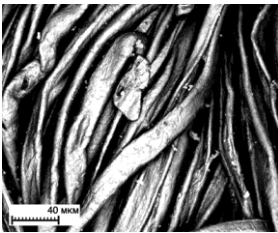
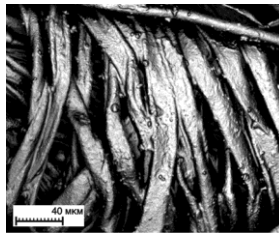


Рисунок 5 – ИК-спектры модельных образцов, обработанных экспериментальной ВО композицией (красный – исходный образец, зеленый – образец после пропитки)

Данные ИК-Фурье спектроскопии подтвердили наличие на обработанной поверхности функциональных групп аминсилана и хлорпарафина. Зафиксированы полосы поглощения, соответствующие образованию связей между силановыми фрагментами и гидроксильными группами целлюлозы, что указывает на химическое закрепление композиции. Наличие характерных полос хлорсодержащих групп свидетельствует о сохранении хлорпарафина в составе покрытия.



а)



б)

Рисунок 6 – Результаты конфокальной микроскопии образцов ткани: а – исходный образец (без пропитки); б – образец после пропитки; ($\times 300$)

Таким образом, полученные результаты с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, показали равномерное распределение водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина по поверхности хлопковых волокон. Формируется плёнка толщиной порядка 1–3 мкм, полностью маскирующая естественный микрорельеф целлюлозных волокон. При этом композиция локализуется преимущественно на поверхности волокон и не заполняет межволоконные промежутки, что способствует сохранению пористой структуры.

Дифференциальный термический анализ выявил три температурные области термораспада обработанных текстильных материалов. Первая связана с испарением влаги, вторая – с термоокислением целлюлозы, третья – с образованием коксового остатка. Вторая температурная область опытного образца отличается характером и происходит в 2 этапа, что связано с частичным выделением хлорсодержащих компонентов при нагревании образцов с хлорпарафином. Меньшая на 3,2% потеря массы во втором температурном интервале, более высокое содержание коксового остатка на 0,9% и завершение терморазложения при температуре 560 °С, что на 60 °С выше, чем у контрольных образцов, вызваны формированием термозащитной оболочки из продуктов разложения хлорпарафина, замедляющей горение и нарушающую активность высоких температур. Такие изменения, связанные с формированием при нагревании коксообразной закапсулированной поверхности характерны для аддитивных антипирентов, в частности хлорпарафина.

В совокупности полученные данные позволили получить следующие механизмы закрепления: этоксигруппы аminosилана вступают в реакцию конденсации с гидроксильными группами целлюлозы, происходит частичная реакция замещения атомов хлора в хлорпарафине аминогруппами силана, после чего на поверхности волокон формируются и осаждаются пространственно сшитые полимерные структуры. Можно говорить о том, что компоненты водоотталкивающей композиции выступают сореагентами при получении модифицированных целлюлозных волокон. Данный тип физико-химического закрепления обеспечивает долговременную фиксацию водоотталкивающих свойств, повышает огнезащитную устойчивость материалов и способствует увеличению срока службы текстильных изделий.

Проведена оценка потребительских свойств и долговечности разработанных текстильных материалов с водоотталкивающей композицией на основе силана и ХП. Полученные результаты позволили оценить устойчивость закрепления водоотталкивающей композиции на текстильных материалах. Оценка проводилась путем повторного исследования показателя времени впитывания капли воды и огнестойкости после многократных стирок. В ходе проведенных исследований установлено, что текстильные материалы, обработанные ВО композицией на основе силана и ХП, сохраняют свои защитные свойства после многократных стирок. Несмотря на небольшое снижение показателей времени впитывания капли (на 17%) и огнестойкости (на 25%), данные изменения не оказывают существенного влияния на защитные характеристики материалов.

Для подтверждения конкурентных преимуществ предложенной технологии обработки текстильных материалов ВО композицией на основе силана и ХП проведён сравнительный анализ сохранения водоотталкивающих свойств обработанных материалов с материалами-аналогами, подвергнутыми многократным стиркам (5 стирок). Оценка проводилась по показателю времени впитывания капли (рисунок 7).

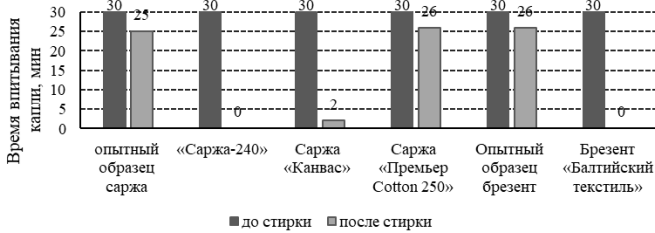
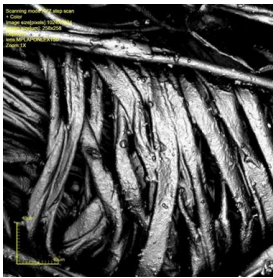


Рисунок 7 – Результаты показателя времени впитывания капли воды на поверхности текстильных материалов после многократной стирки

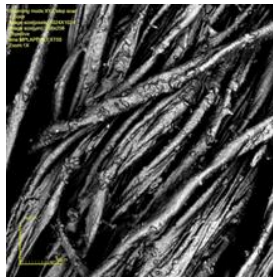
Из рисунка 7 можно сделать вывод о том, что у образца «Саржа-240», Брезент «Балтийский текстиль» после многократной стирки показатель времени впитывания капли снизился до 0 мин, что свидетельствует о полной потере гидрофобной способности. Показатель образца «Канвас» также снизился на 93% по сравнению с начальными характеристиками. Относительно умеренный сдвиг зафиксирован у ткани «Премьер Хлопок 250», у которой показатель времени впитывания капли ухудшился – на 13%.

Для подтверждения устойчивости водоотталкивающих свойств и закрепления водоотталкивающего состава на текстильных материалах проведены дополнительные исследования, включавшие оценку стойкости обработки после стандартных циклов стирки с использованием методов оптической микроскопии (рисунок 8) и ИК спектроскопии (рисунок 9).

Результаты анализа показали, что в процессе стирки аппрет формирует дискретные оболочки на волокнах, обнаруживаемые оптической микроскопией (рисунок 8). ИК-спектры указывают на снижение интенсивности полос, соответствующих колебаниям CH_2 -групп, CH_3 -групп и групп $\text{CH}_2\text{-Cl}$, что свидетельствует о частичном вымывании хлорпарафина. Данные подтверждают закрепление водоотталкивающей композиции на основе силана и продуктов его гидролиза на целлюлозосодержащей ткани.



а)



б)

Рисунок 8 – Результаты конфокальной микроскопии экспериментальных образцов: а – образец с ВО композицией; б – образец с ВО композицией после стирки

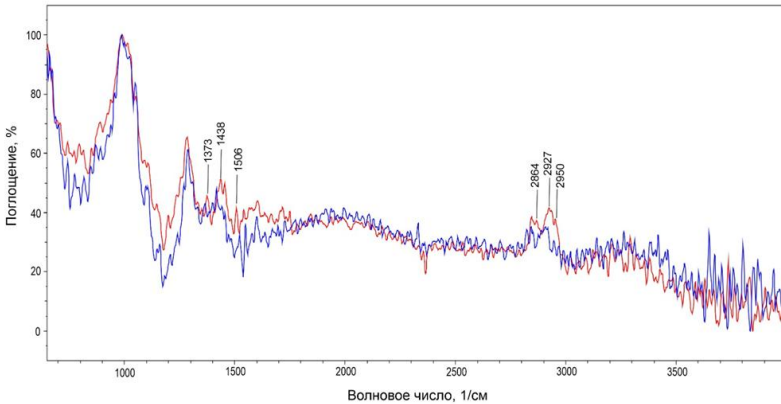


Рисунок 9 – ИК-спектры экспериментальных образцов с ВО композицией: красная линия – образец до стирки; синяя линия – образец после стирки

Дополнительно выполнена оценка устойчивости ВО композиции путём исследования смывов после каждого цикла стирки. Обнаружено полное восстановление уровня рН водной среды после третьей стирки, что подтверждает минимальное количество вымываемых компонентов.

В четвёртой главе изложены технологические рекомендации по производству текстильного материала с ВО композицией на основе силана и хлорпарафина. Представлено обоснование экономической эффективности внедрения данной технологии для изготовления водоотталкивающих текстильных материалов, предназначенных для УРО. На основе экспериментальных данных сформулированы технологические рекомендации по производству ВТМ, обработанных ВО композицией на основе силана и хлорпарафина (рисунок 10).

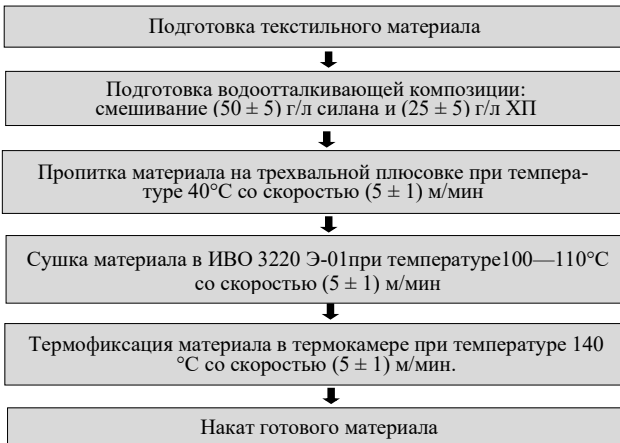


Рисунок 10 – Блок-схема технологического процесса изготовления водоотталкивающего текстильного материала

Проведён комплексный расчёт экономической эффективности внедрения данной технологии, включающий оценку затрат, рентабельности и сроков окупаемости производства нового вида водоотталкивающих текстильных материалов. Согласно проведенному расчету, предприятие сможет получать ежегодно чистую прибыль в размере около 12 197 952 млн руб., достигая рентабельности порядка 3,9%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа современного состояния лёгкой промышленности России выделены ключевые проблемы и разработана концепция универсальной рабочей одежды (УРО), соответствующей разным сферам деятельности и обеспечивающей защиту от комплекса производственных факторов.

2. Разработаны текстильные материалы, обработанные водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина для универсальной рабочей одежды, обладающие комплексом улучшенных свойств:

- Экспериментально установлено, что обработка текстильных материалов водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина позволяет увеличить краевой угол смачивания для саржи на 32% и для брезента на 39%, а водоупорность – для саржи на 80% и для брезента на 93%;

- Экспериментально доказано, что включение хлорпарафина в водоотталкивающий состав позволило повысить показатель огнестойкости на 100% для саржи и на 120% для брезента;

- Микробиологический анализ подтвердил, что обработка текстильных материалов водоотталкивающей композицией на основе силана и хлорпарафина значительно снижает бактериальную обсеменённость материалов и полностью устраняет рост мицелиальных грибов, препятствуя развитию биопоражения;

- Установлен механизм закрепления водоотталкивающей композиции на основе силана и хлорпарафина на текстильных материалах. Этоксигруппы аminosилана вступают в реакцию с гидроксильными группами целлюлозы, замещая атомы хлора в хлорпарафине аминогруппами силана. В результате на поверхности волокон образуется пространственно сшитая полимерная пленка, обеспечивающая сохранение водоотталкивающих свойств, повышение огнестойкости в 2,0-2,2 раза и увеличение срока службы текстильных изделий;

- Экспериментально подтверждена устойчивость водоотталкивающих свойств обработанных текстильных материалов после многократных гидромеханических воздействий: после интенсивных стирок на поверхности волокон методами конфокальной микроскопии и ИК-Фурье спектроскопии установлено наличие значимых следов водоотталкивающего агента, после третьей стирки рН водной среды свидетельствует о минимальной миграции активного вещества.

3. Предложена технология производства водоотталкивающих текстильных материалов для универсальной рабочей одежды. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанных технологий составляет 12 197 952 руб. в год.

Результаты исследований, полученные в ходе выполнения данной работы, могут быть применены в дальнейшем при создании новых технологий гидрофобной отделки текстильных материалов для многофункциональной рабочей одежды, устойчивой к различным воздействиям внешней среды.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Лутфуллина Г.Г. Гидрофобизирующие эмульсии в текстильной и легкой промышленности / Г.Г. Лутфуллина, Л. Ю. Махоткина, **А.А. Халилова** // Костюмология. – 2019. – Т. 4. – № 1. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL119.pdf>

2. **Халилова, А.А.** К вопросу о применении раствора силана в качестве заключительной отделки в производстве текстильных материалов / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова // Костюмология. – 2022. – Т 7. – №1. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/31TLKL122.pdf>

3. **Халилова, А.А.** Исследование стойкости к открытому пламени натуральных текстильных материалов с водоотталкивающей пропиткой / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова, И.Ф. Сайфутдинова // Технологии и качество. – 2024. – № 4(66). – С. 7-13.

4. **Халилова, А.А.** Термический анализ целлюлозосодержащих текстильных материалов с водоотталкивающим составом на основе аminosилана и хлорпарафина / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова, Е.А. Сергеева // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28. – № 7. – С. 153-159.

5. **Халилова, А.А.** Влияние обработки целлюлозных материалов водоотталкивающей композицией на санитарно-гигиенические и биостойкие свойства / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова, Н.П. Бодрякова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2025. – Т. 68. – № 1. – С. 97-105.

6. **Халилова, А.А.** Исследование устойчивости экспериментальной водоотталкивающей композиции на основе аminosилана и хлорпарафина к гидромеханическим воздействиям / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова, Э.Ф. Вознесенский, Э.А. Каралин // Костюмология. – 2025. – Т 10. – №4. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL425.pdf>

Публикации в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus / Web of Science:

7. Makhotkina, L. Hydrophobic textile materials with organosilicon impregnation / L. Makhotkina, **A. Khalilova** // E3S Web of Conferences, Moscow, 25–27 ноября 2020 года. – Moscow, 2020.

8. Makhotkina, L.Y. Development of hydrophobic textile materials with organosilicon impregnation / L.Y. Makhotkina, **A.A. Khalilova** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020, Novosibirsk, 22–24 сентября 2020 года. Vol. 953.

9. **Халилова, А.А.** Разработка импортозамещающей композиции для гидрофобной отделки текстильных материалов / **А.А. Халилова**, Н.В. Тихонова, Э.Ф.

Вознесенский // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 1(415). – С. 146-151.

Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций:

10. Махоткина, Л.Ю. Влияние обработки поверхности текстильного материала раствором на основе кремнийорганического соединения на прочностные характеристики материала / Л.Ю. Махоткина, Г.Г. Лутфуллина, **А.А. Халилова** // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – Курск. – 2019. – С. 281-284.

11. Махоткина, Л.Ю. Влияние обработки поверхности текстильного материала водным раствором на основе силана на гигроскопичность материала / Л.Ю. Махоткина, Г.Г. Лутфуллина, **А.А. Халилова** // Юность и знания - гарантия успеха -2019: сборник научных трудов 6-й Международной молодежной научной конференции. – Курск. – 2019. – С. 273-276.

12. Махоткина, Л.Ю. Применение кремнийорганических соединений в процессе гидрофобизации текстильных материалов / Л.Ю. Махоткина, Г.Г. Лутфуллина, **А.А. Халилова** // Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности: Сборник статей Всероссийская научно-техническая конференция. – Казань. 2019. – С. 154-158.

13. Махоткина, Л.Ю. Исследование влияния раствора на основе кремнийорганического соединения на поверхность текстильного материала / Л.Ю. Махоткина, Г.Г. Лутфуллина, **А.А. Халилова** // Текстильная химия: традиции и новации –2019. Мельниковские чтения. Сборник научных статей. – Иваново. – 2019. – С.170-174

14. Махоткина, Л.Ю. Применение силанов на хлопчатобумажной ткани в качестве гидрофобной отделки для разработки рабочей одежды / Л.Ю. Махоткина, Г.Г. Лутфуллина, **А.А. Халилова** // Новые технологии и материалы легкой промышленности: XVI Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. – 2020. – С. 109-112.

15. Махоткина, Л.Ю. Разработка гидрофобных текстильных материалов для производства рабочей одежды с применением кремнийорганических соединений / Л.Ю. Махоткина, **А.А. Халилова** // Наука России: Цели и задачи: сборник научных трудов по материалам XXII международной научной конференции. – Екатеринбург. – 2020. – С. 131-135.

16. **Халилова, А.А.** Аппретирование хлопкополиэфирных материалов с использованием раствора на основе кремнийорганических соединений / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Лёгкая промышленность: проблемы и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции. – Омск. – 2022. – С. 95-100.

17. **Халилова, А.А.** Применение силанов в качестве гидрофобной отделки на хлопчатобумажной ткани для разработки одежды специального назначения / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Новые технологии и материалы легкой

промышленности: Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. – 2022. – С. 251-254.

18. **Халилова, А.А.** Исследование электризуемости текстильных материалов, обработанных кремнийорганическим соединением / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности: Материалы I Всероссийской научной конференции с международным участием. – Казань. – 2023. – С. 273-276.

19. **Халилова, А.А.** Влияние обработки текстильных материалов кремнийорганическим соединением на показатель огнестойкости / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Новые технологии и материалы легкой промышленности: Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. – 2023. – С. 243-245.

20. **Халилова, А.А.** Гигиеническая оценка текстильных материалов с водоотталкивающей пропиткой на основе силана и хлорпарафина / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2024. – № 1. – С. 342-345.

21. **Халилова, А.А.** Исследование самозатухаемости текстильных материалов с водоотталкивающей пропиткой для рабочей одежды / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. – Иваново. – 2024. – С. 530-533.

22. **Халилова, А.А.** К вопросу о возможности применения универсального текстильного материала для рабочей одежды / **А.А. Халилова, Н.В. Тихонова** // Новые технологии и материалы легкой промышленности: Материалы юбилейной XX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. – 2024. – С. 35-37.

Заказ

Тираж 100 экз.