

*На правах рукописи*

Лаврентьева Екатерина Петровна

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВЫХ СТРУКТУР  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ И  
СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

Специальность: 05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Москва 2016 г.

Работа выполнена в ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и лёгкой промышленности» и на кафедре текстильных технологий Текстильного института имени А.Н. Косыгина Федерального Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии».

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор, директор текстильного института имени А.Н. Косыгина ФГБОУ ВПО «МГУДТ»  
**Разумеев Константин Эдуардович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор кафедры технологии и проектирования текстильных изделий ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»  
**Ашнин Николай Михайлович,**  
доктор химических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ЗАО ФПГ «Энергоконтракт»  
**Зубкова Нина Сергеевна,**  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
**Хамматова Венера Васильевна.**

**Ведущая организация:** **ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет**

Защита состоится «16» июня 2016 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 на базе ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1, ауд. 156.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» и на сайте [www.mgudt.ru](http://www.mgudt.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.144.06  
доктор технических наук, профессор

Е.А. Кирсанова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Технический текстиль сегодня в мире наиболее динамично развивающаяся отрасль среди других направлений развития текстиля.

Российский рынок технического текстиля в сравнении с другими товарными группами отрасли наиболее динамичен и прогрессивен. Рост его производства и потребления в ближайшие 10 лет прогнозируется с опережением в 1,5-2 раза среднего роста экономики в целом. Активно потребление будет расти по фильтрационным, изолирующим и, особенно, по защитным материалам.

В России всё более актуальным становятся вопросы создания одежды и других текстильных материалов с высокими защитными свойствами. Специальная одежда и средства индивидуальной защиты играют важную роль в снижении травматизма на производстве и сохранении здоровья и трудоспособности работающих.

Выбор методов и средств обеспечения безопасности определяется набором вредных и опасных производственных факторов, присущих производственному оборудованию или технологическому процессу. При этом в зависимости от функционального назначения они должны соответствовать требованиям каждого производства и максимально защищать от вредных и опасных факторов.

Для анализа в представленной работе были выбраны те отрасли промышленности и ведомства, которым требуется специальная одежда, защищающая от следующих поражающих факторов: лазер-ионизирующее излучение (сварка); повышенные температуры в течение длительного времени; высокие температуры рабочих сред; световое излучение; неожиданное воспламенение и возгорание.

Данные исследования выполнены в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база» на 2007-2011 г.г. и в рамках программы Совета делового сотрудничества Республики Беларусь и г. Москвы в 2009-2010 г.г., что определяет актуальность работы.

**Цель исследований** – создание текстильных материалов для специальной одежды и средств индивидуальной защиты (СИЗ) на основе отечественных высококомодульных, высокопрочных и термостойких волокон и нитей, имеющих высокий кислородный индекс, обеспечивающих требуемые защитные и функциональные эксплуатационные свойства.

### **Задачи исследований:**

- проведение патентных исследований в целях выявления российских и зарубежных аналогов в области текстильных материалов и средств индивидуальной защиты;
- разработка требований к текстильным материалам: защитным тканям и средствам индивидуальной защиты (СИЗ);
- исследование свойств отечественных и импортных высококомодульных, высокопрочных и термостойких волокон и нитей, имеющих высокий кислородный индекс, применяемых для производства огне- и термозащитной специальной одежды и средств индивидуальной защиты;

- определение оптимальных составов сырьевых смесей на базе использования отечественных термостойких и натуральных волокон с целью обеспечения требований к защитным свойствам материалов;
- исследование процессов горения текстильных материалов и разработка модели горения;
- разработка ассортимента и технологии производства пряжи, суровых и готовых тканей с использованием отечественных огнестойких, высокомодульных, высокопрочных волокон, имеющих высокий кислородный индекс;
- оценка влияния стирок и химчисток на специальные свойства тканей;
- исследование оптимальных составов пакетов для спецодежды сварщиков и металлургов, водителей техники на базе бронетанковых вооружений, специальной одежды пожарного;
- разработка нормативной документации на огне-, термозащитные пряжу, ткани;
- получение сертификатов соответствия и экспертных заключений.

**Основные методы исследований.** В основу работы положены результаты теоретических и экспериментальных исследований, изложенные в трудах отечественных и зарубежных учёных.

В теоретических исследованиях использовались численные методы решения систем дифференциальных уравнений, специальные планы, основанные на симплекс-решетчатых матрицах планирования, теоретические основные и дифференциальные уравнения, описывающие процессы горения.

Экспериментальные исследования осуществлялись с применением методов математической статистики для обработки экспериментальных данных при обеспечении высокой достоверности результатов.

В работе использованы известные методы определения качественных и гигиенических показателей текстильных материалов (волокон, пряжи, ткани) по действующей нормативно-технической документации.

Исследования свойств текстильных материалов определялись в аккредитованных испытательных центрах: ОАО «ИНПЦ ТЛП», Испытательный центр Сергиево Посадского филиала ФГУ «Менделеевский ЦСМ», ООО «НИИОТ» (г. Иваново), ООО НПП «Армоком», ФГУ ВНИИПО МЧС.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в развитии теоретического, экспериментального и методического обеспечения процессов оптимального проектирования огнезащитных текстильных материалов, а именно:

методами механики деформируемого твердого тела развита теория аналитического проектирования пряжи и нитей с учетом реальных геометрических и механических свойств волокон и нитей;

средствами системы MathCAD проведена оптимизация сырьевых составов смесей волокон для выработки огнезащитной пряжи с максимальным кислородным индексом в условиях аппроксимации зависимости прочности пряжи от состава смеси полиномами второго порядка;

развита теория горения текстильных материалов на основе моделей, учитывающих изменение скорости горения из-за уменьшения горючей составляю-

щей вследствие конвекции, уменьшения доступа кислорода и нарастания негорючих продуктов сгорания;

построены математические модели горения волокнистых материалов, описывающие горение этих материалов с учётом температуры, энергии активации процесса горения и их влияния на динамику горения, а также имитирующие эксперимент по проверке огнестойкости материала;

получены кривые распространения температурного фронта, объясняющие эффект самоподдерживания горения за счёт энергии новых участков материала при значениях коэффициента температуропроводности, превышающих критический уровень; найдены условия, способствующие распространению горения по поверхности материала, когда интенсивность горения не ослабевает по мере распространения фронта горения;

разработаны направления и требования к созданию отечественных огне-, термозащитных текстильных материалов на базе применения пряжи из отечественных химических волокон и их смесей с огнестойкими натуральными волокнами в сочетании с поверхностными пропитками для металлургов и сварщиков, спецподразделений силовых структур;

применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс существующих базовых методов и средств экспериментальных исследований свойств отечественных и зарубежных высококомодульных, высокопрочных и огне-, термостойких волокон и нитей, имеющих высокий кислородный индекс, раскрыты общие специфические свойства отечественных и импортных волокон;

в результате проведённого анализа основных характеристик волокон, характеризующих их свойства для обеспечения требований к огнезащитным материалам, установлено:

- наибольшим значением кислородного индекса и температурой эксплуатации обладают термостабилизированные полиакрилонитрильные волокна;
- наилучшие разрывные свойства имеют параарамидные волокна;

наилучшие термостойкие свойства (сохранение прочности при 300<sup>0</sup>С) наблюдаются у метараamidных волокон;

разработаны и внедрены параметры технологического режима переработки огнестойкого полиакрилонитрильного волокна в пряжу по аппаратной системе прядения шерсти и по кардной системе прядения хлопка;

разработаны оптимальные режимы заключительной отделки тканей из огнестойких и натуральных волокон.

**Практическая значимость** заключается в том, что:

- разработана технология производства огнезащитной пряжи, суровых и готовых тканей на основе переработки огнестойких отечественных волокон по аппаратной системе прядения шерсти;

- разработана технология производства огнезащитных пряжи, суровых и готовых тканей на основе переработки натуральных и огнестойких отечественных волокон по кардной системе прядения хлопка;

- созданы огнезащитные ткани поверхностных плотностей 250-350 г/м<sup>2</sup> и 450-550 г/м<sup>2</sup>, обеспечивающие комплекс высоких прочностных, огнестойких и гигиенических показателей, значительно превышающих нормы ГОСТ, а также обеспечивающие скатывание с поверхности брызг расплавленного металла;
- показано функциональное преимущество огнезащитных тканей с использованием огнестойких волокон перед тканями из натуральных волокон с использованием огнезащитной пропитки;
- разработаны и утверждены ТУ на новые огнезащитные материалы: пряжу, суровые и готовые ткани;
- показана целесообразность применения комплексного системного подхода к разработке специальной одежды.

Результаты работы:

- внедрены на предприятиях ООО «Чайковская текстильная компания», ОАО «Сукно» г. Минск, Республика Беларусь;
- использованы при разработке ГОСТ Р 12.4.297-2013 ССБТ. Одежда специальная для защиты от повышенных температур, теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия пламени. Технические требования и методы испытаний;
- использованы при разработке межгосударственного стандарта ГОСТ 11209-2014. Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на:

- IV-ом и VI-ом Международных симпозиумах по техническому текстилю, печатным материалам и защитной одежде «Инновационные разработки, современные технологии и применение технического текстиля», 2009, 2011, Москва.
- XII-ой Международной научно-промышленной конференции «Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты– 2012» НИИ СТАЛИ, Москва.
- Семинаре Рособоронзаказа по форменной одежде, поступающей на снабжение по государственному оборонному заказу – 2013, Москва.
- Семинаре «Инновации в текстильной и лёгкой промышленности в области сырьевого обеспечения и технического регулирования», расширенное заседание РСПО – 2013, Москва.
- Совместном заседании Комиссии РСПП по текстильной и лёгкой промышленности и Правления Союзлегпрома «Инновации в техническом текстиле» - 2014, Москва.
- XVII Международном форуме «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы» SMARTEX – 2014, г. Иваново.
- XVIII Международном научно-практическом форуме «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы» SMARTEX – 2015, г. Иваново.

- Международной научно-технической конференции «Новое в технике и технологии в текстильной и лёгкой промышленности», г. Витебск, 2015.

- Учёных советах ФГУП «ЦНИХБИ», ОАО «ЦНИТИ», ОАО «ИНПЦ ТЛП», г. Москва, 2009, 2010, 2011, 2015 гг.

**Личный вклад автора** состоит в постановке цели и задач исследования, составлении аналитического обзора, разработке теоретических положений, участии в получении исходных данных и научных экспериментальных исследованиях выработки пряжи и тканей, в обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных результатов, составлении общих выводов по работе. Автор лично участвовал в апробации результатов исследований, выступал с докладами и готовил основные публикации по выполненной работе.

**Публикации.** По результатам исследований опубликована 21 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 9 патентов РФ на изобретения и полезные модели, представлено 9 докладов на конференциях.

**Структура и объём работы.** Работа состоит из введения, 8 глав с выводами, основных результатов, выводов и рекомендаций по работе, списка используемой литературы и приложений.

Работа изложена на 413 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 118 таблиц, список используемых литературных источников включает 148 наименований.

Приложения представлены отдельным томом на 476 страницах.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность темы диссертации, обозначены объекты исследования, определена цель и сформулированы задачи исследований, а также представлена научная новизна и практическая значимость работы.

**Глава 1** посвящена обоснованию выбранного направления на основе:

аналитического обзора потенциального рынка огнезащитных тканей в России;

анализа тенденций создания отечественных и импортных огне- и термозащитных материалов и средств индивидуальной защиты;

анализа научных достижений в области создания огне- и термозащитных материалов.

В результате анализа потенциального рынка огнезащитных тканей выявлены отрасли с наиболее сложными условиями труда. Ежегодная потребность в защитной одежде для этих отраслей составляет значительный объём – около одного миллиона штук огнезащитных костюмов.

Проведённый анализ огне-, термозащитных текстильных материалов зарубежных и отечественных производителей показывает, что в практике создания специальных тканей и изделий достижение термо-, огнезащитных свойств осуществляется двумя путями: пропиткой специальными составами, образующими негорючую защитную пленку или выделяющимися при горении негорючими газами, блокирующими процесс горения типа PROBAN, PYROVATEX; использованием огне- и термостойких волокон.

Базовым сырьем в первом случае являются натуральные волокна с дополнительными сырьевыми компонентами для упрочнения и со специальными

свойствами антистатичности, предотвращения пиллинга, защиты от брызг металла, устойчивости к истиранию и т.д.

Чаще всего огнезащитные свойства тканям придают на заключительной стадии отделки – аппретировании. Антипирены используют в виде растворов, дисперсий, суспензий. Композицию наносят на текстильный материал, высушивают.

Однако показатели огне- и термостойкости материалов, полученных методом пропитки в процессе эксплуатации снижаются. Использование огне-, термостойких волокон обеспечивает перманентное сохранение устойчивости тканей к температурным воздействиям. Отечественные производители используют в основном волокна зарубежного производства, что приводит к зависимости от импорта.

В главе 1 также изучены результаты научных исследований отечественных учёных: д.т.н. Константиновой Н.И, д.х.н. Зубковой Н.С., д.т.н. Бесшапошниковой О.Н., к.т.н. Алексея Ивановича Слугина, к.т.н. Андрея Ивановича Слугина, к.т.н. Мороз О.Н., к.х.н. Карелиной И.М., к.т.н. Куликовой Т.В., к.т.н. Гришиной О.А., к.х.н. Стрекаловой Ю.В., к.т.н. Болодьян Г.И., Загоруйко М.В. и др.

Для достижения поставленной цели и на основе анализа условий труда в выбранных отраслях и нормативных документов, регламентирующих их производство, разработаны требования к стандартным и специальным показателям огнезащитных тканей, таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Требования к стандартным показателям разрабатываемых готовых огнезащитных тканей

Наименование показателей	Требования ГОСТ 12.4.105-81 (для сварщиков)	Требования ГОСТ 12.4.221-2002 (от повышенных температур)	Требования ГОСТ 12.4.247-2008 (для защиты от искр и брызг)	Установленные требования ТЗ
1. Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> , не более	450-550	250,0	600,0	250-550
2. Разрывная нагрузка, Н (кгс), не менее - основа - уток	1000-1200 800-900	800 800	1200 900	1000-1200 900-1200
3. Раздирающая нагрузка, Н (кгс), не менее - основа - уток	70-100 60	70 70	100,0 60	100-120 100-130
4. Стойкость к истиранию, не менее, циклы	500-1500	-	1500	1500-2000
5. Изменении размеров ткани в горячем воздухе, %, не более - основа - уток	-	±2,0	-	± 2,0 ±2,0
6. Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> / с, не менее	30-50 (t ↑) 20-40 (норма) 8-40 (t ↓)	30	-	40

7. Гигроскопичность, %, не менее	8-20		10	10
8. Изменение размеров после мокрой обработки, %, не более				
- основа	3,5	± 2,0	-3,5	-3,5
- уток	2,0	± 2,0	± 2,0	± 2,0

Таблица 2 – Специальные требования к разрабатываемым тканям

Наименование показателей	Требования ГОСТ 12.4.105-81 (для сварщиков)	Требования ГОСТ 12.4.221-2002 (от повышенных температур)	Требования ГОСТ 12.4.247-2008 (для защиты от искр и брызг)	Установленные требования ТЗ
1. Огнестойкость	Контакт с пламенем в течение 30 с	Контакт с пламенем в течение 30с		
- остаточное горение, с	Ткани не должны гореть и тлеть при удалении из пламени	0	0	0
- остаточное тление, с		0	0	0
2. Кислородный индекс, % не менее	-	-	-	36
3. Стойкость к прожиганию, с, не менее	45-60		-	50-100
4. Интенсивность теплового излучения, квт/м <sup>2</sup>	-	Уровень 1 – не более 2,0 включит. Уровень 2 – 2,2 до 8,0 Уровень 3 - >8,0 до 15,0 Уровень 4 - > 15 до 20,0	-	Уровень защиты 1,2
5. Суммарное тепловое сопротивление, м <sup>2</sup> °С/Вт		Уровень 1 – 0,15 до 2,0. Уровень 2 – > 0,25 до 0,35 Уровень 3 - >0,35-0,45 Уровень 4 - не менее 0,45		Уровень защиты 1,2

**Глава 2** посвящена теоретическим исследованиям процессов горения.

В процессе работы над диссертацией были проанализированы работы по общей теории горения и динамике распространения фронта горения в горючих материалах. Наибольший вклад в изучение вопросов горения внесли следующие ученые: Гришин А.М., Пашков Л.Г., Голубева Л.Б., Франк Каменецкий Д.А., Kissa E., Torvi D.A., Eng P. Известны исследования в области горения текстильных материалов таких ученых как Перепелкин К.Е., Кричевский Г.Е., Сафонов В.В. и др.

На основе исследований были разработаны математические модели динамики горения. На рисунке 1 представлены основные физико-химические процессы, сопровождающие горение пористых горючих материалов.

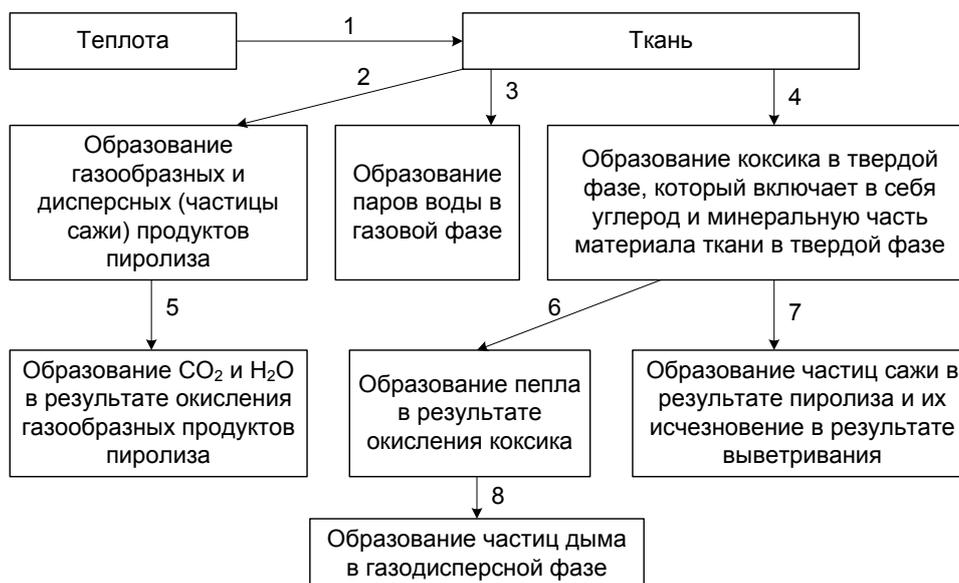


Рисунок 1

В работе приведены построенные автором динамические математические модели горения, которые учитывают как особенности структуры материала, так и протекания процесса горения.

Перечислены факторы, замедляющие процесс горения, их влияние включено в математические модели, которые учитывают: наличие в смеси волокон таких компонентов, которые загораются лишь при весьма высоких температурах; образование при горении продуктов сгорания в виде твердых частиц или расплавов, закрывающих доступ к кислороду воздуха новых, ещё не сгоревших участков волокнистого материала; действие нанесённых на поверхность волокнистого материала специальных защитных составов, препятствующих возгоранию поверхностных слоёв волокнистого материала; интенсивный отвод тепла вследствие конвективных эффектов (движение воздуха у поверхности горячей области материала) и, как результат, понижение температуры в очаге возгорания и прекращение горения. В то же время, конвекция приносит в область горения новые порции воздуха, насыщенные ещё не прореагировавшим кислородом, что способствует поддержанию горения.

Для большей общности уравнения модели записаны в безразмерных переменных. Они представлены в виде семейства формул.

$$\frac{dm(t)}{dt} = -bm(t)$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{A \left( 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}(\theta(t) - 1) \right) m_1(t) C_0 q_1 (\theta - 1) \exp \left( -\frac{\theta_a}{\theta(t)} \right)}{D_{f1} \rho_{f1} \left( C_1 m_1(t) + C_2 (m(t) - m_1(t)) \left( 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}(\theta(t) - 1) \right) \right)}$$

$$\frac{dC_0(t)}{dt} = -r \cdot C_0(t) \cdot m_1(t) m_2(t)$$

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = \frac{B}{R_{f1} \rho_{f1}} m_1(t) C_0(t) \left( \frac{\theta(t)}{\theta_p} - 1 \right) \exp \left( -\frac{\theta_a}{\theta(t)} \right),$$

где  $m(t)$  – общая масса несгоревшего к моменту  $t$  материала;  $m_1(t)$ ,  $m_2(t)$  – массы горючей и негорючей компоненты;  $C(t)$  – концентрация горючей составляющей;  $\theta(t)$  – температура горения (безразмерная). Кроме того, в модель входят плотность материала  $\rho$ , температура возгорания  $\theta_p$ , а также коэффициент температуропроводности и другие параметры.

На рисунках 2 и 3 показано полученное с помощью модели распространение теплового фронта для двух типов материалов – с высоким (рис. 2) и низким (рис. 3) порогами возгорания.

Показано, что как в случае плотных материалов, так и пористых материалов скорость горения и, соответственно, время сгорания материала не зависят от формы поверхности изделия из этого материала, а только от скорости реакции горения.

Установлено, что для пористых материалов скорость горения вследствие наличия пор возрастает на несколько порядков. При этом форма пор (сферическая, цилиндрическая) практически не сказывается на скорости горения.

Получены выражения для оценки времени горения пористого материала в безразмерной форме в зависимости от степени пористости материала, что делает эти выражения пригодными для широкого класса пористых материалов, в том числе и для тканей.

Сравнение результатов моделирования позволило сделать вывод, что динамика горения существенно зависит от механизма горения: если в процессе горения происходит образование большого количества негорючих продуктов горения, которые преграждают доступ кислорода в область горения, то происходит замедление реакции. Сама скорость горения изменяется в процессе горения, сначала возрастая, а затем снижаясь до малых значений. При этом отмеченные особенности динамики горения остаются неизменными в широком диапазоне значений параметров модели горения.

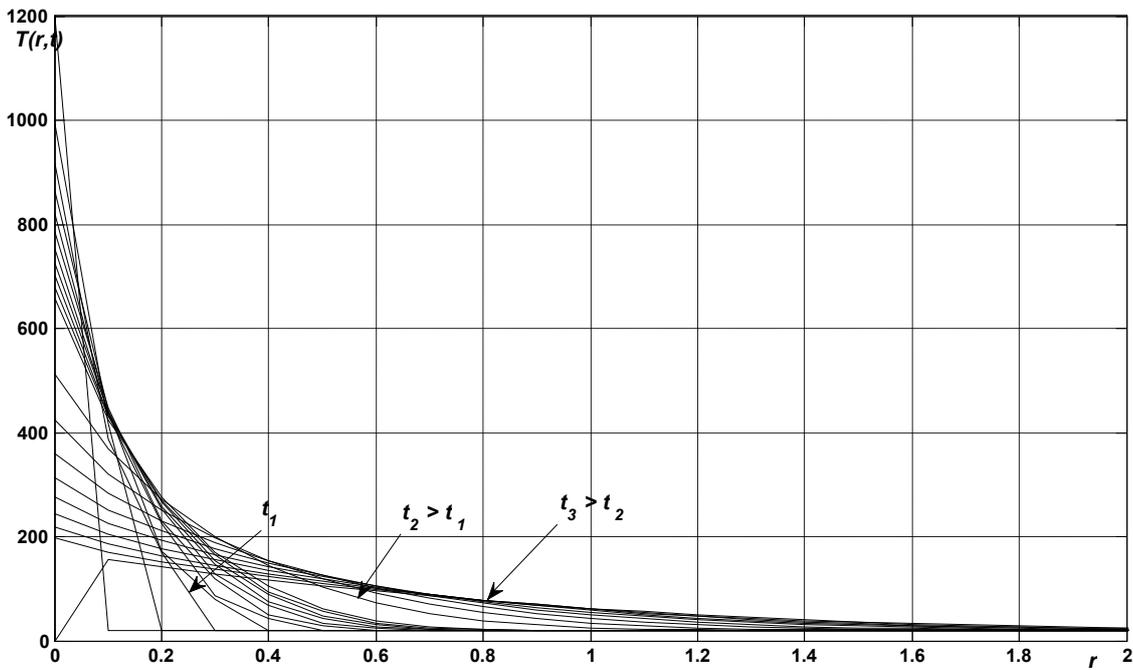


Рисунок 2

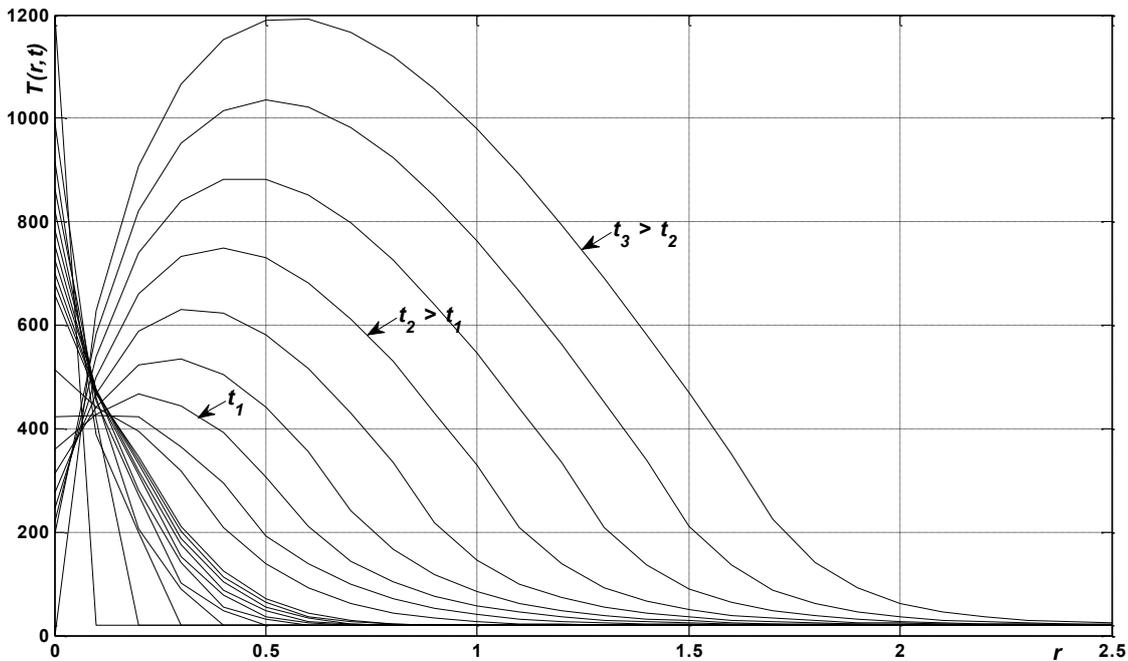


Рисунок 3

Полученные в результате численного решения уравнения кривые распространения температурного фронта показали, что при значениях коэффициента температуропроводности, превышающих критический уровень, возникает эффект самоподдерживания горения за счёт энергии новых участков материала. Поэтому интенсивность горения не ослабевает по мере распространения фронта горения, а может усилиться. Это способствует распространению горения по поверхности материала.

**Глава 3** посвящена анализу и исследованиям свойств отечественных и импортных волокон, применяемых для производства огне- и термозащитной специальной одежды и средств индивидуальной защиты.

В отличие от обычных синтетических волокон технического назначения к термостойким волокнам предъявляется ряд специфических требований: длительное сохранение высоких механических характеристик при высоких температурах; способность выдерживать высокие статистические и динамические нагрузки; морозостойкость до  $-260^{\circ}\text{C}$ ; хемостойкость, стойкость к радиации и т.д. В качестве критерия термостойкости волокон используется доля сохранения прочности при заданной температуре испытаний (как правило,  $300^{\circ}\text{C}$ ) или после длительного прогрева при заданных условиях (например,  $300^{\circ}\text{C}$ , 100 ч) и охлаждения до первоначальной температуры.

К термостойким относят волокна, сохраняющие не менее 50% исходной прочности при указанных условиях термических воздействий, а к особо термостойким – сохраняющие не менее 75-90% исходной прочности при  $300^{\circ}\text{C}$ . В случае особо термических волокон оценка их свойств может проводиться также при температурах  $350-400^{\circ}\text{C}$ .

Почти все виды термостойких волокон являются трудногорючими.

Из всех требований, которые предъявляются к термостойким волокнам, самым главным является огнестойкость.

Наиболее перспективным для определения степени воспламеняемости волокон является метод определения кислородного индекса Фенимора и Мартина. Для воспламенения и поддержания горения необходима определённая концентрация кислорода в газовой среде. Обычно материалы, не поддерживающие горение на воздухе, имеют кислородный индекс выше 21% (содержание кислорода в воздухе при обычных условиях около 21%).

В данной работе проведён анализ кислородного индекса отечественных и импортных волокон. Исследования свойств отечественных и зарубежных высокомодульных, высокопрочных и огне-, термостойких волокон и нитей, имеющих высокий кислородный индекс, позволили установить общие специальные свойства, характеризующие каждый вид указанных волокон, при этом уровень свойств отечественных и импортных волокон примерно одинаков.

В результате проведённого сравнительного анализа основных характеристик волокон, характеризующих их свойства для обеспечения требований к огнезащитным материалам установлено, что: наибольшим значением кислородного индекса и температурой эксплуатации обладают термостабилизированные полиакрилонитрильные волокна; наилучшими разрывными свойствами обладают параарамидные волокна; наилучшими термостойкими свойствами (сохранение прочности при  $300^{\circ}\text{C}$ ) обладают метаарамидные волокна. Учитывая необходимость обеспечения требований к огнезащитным текстильным материалам, целесообразно для дальнейшего проведения работы, взять за основу следующие отечественные огнестойкие волокна: параарамидные - Русар; термостабилизированные полиакрилонитрильные – Нитокс.

**Глава 4** посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям по оптимизации сырьевых составов смесей при выработке пряжи для огнестойких тканей.

Появление нового отечественного термоокисленного полиакрилонитрильного волокна Нитокс<sup>®</sup>, которое имеет высокие термо-, огнестойкие свой-

ства, не уступающие, а по некоторым характеристикам и превосходящие лучшие мировые аналоги, открывает большие возможности в создании огнезащитных материалов.

С целью расширения ассортимента тканей для защитной спецодежды разного функционального назначения и достижения в связи с этим более широкого спектра номенклатуры специальных требований необходимо, наряду с решением других проблем, обоснованно подобрать состав сырьевых смесей за счет оптимального и правильного выбора ассортимента огнестойких волокон. С этой целью были проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению оптимальных составов сырьевых смесей при выработке пряжи для производства огнезащитных тканей.

В качестве критерия оптимизации принят кислородный индекс, который эффективно отражает объект оптимизации. Важнейшим параметром оценки свойств пряжи служит разрывная нагрузка. Но так как разрывная нагрузка пряжи есть сложная функция многих факторов, например прочности волокон, входящих в смесь, доли их вложения, и в то же время для возможности использования пряжи в ткачестве необходимо ограничить этот параметр со стороны минимально возможных значений. Таким образом, возникает необходимость использования прочности пряжи в качестве ограничения. Пряжа с огнезащитными свойствами состоит обычно из разнородных компонентов (по длине и тонине волокон, прочности и др.). Расчет прочности такой пряжи целесообразно проводить с использованием метода проф. В.П. Щербакова.

Так как описываемый метод представляет набор большого количества формул и требует решения систем уравнений с использованием специальных функций, в данной работе для оптимизационного расчета использовался метод интерполяции рассчитанных значений прочности пряжи регрессионной моделью. Эта модель в виде неполного полинома второй степени использовалась в процедуре оптимизации в качестве функции ограничения.

В описываемом методе учитывается, что физико-механические свойства волокон в смеси могут иметь большие различия. Связь между натяжением и жесткостью описывается из условия равенства деформации волокон компонентов. В случае трех компонентов имеем:

$$\frac{T_1}{E_1 F_1} = \frac{T_2}{E_2 F_2} = \frac{T_3}{E_3 F_3}, \quad (1)$$

где  $T$  – натяжение волокон компонента;  $E$  – модуль упругости;  $F$  – площадь поперечного сечения волокна; произведение  $EF$  с соответствующими индексами представляет жесткость компонентов при растяжении.

Жесткость волокна при известных значениях разрывной нагрузки  $P_b$  и относительной деформации при разрыве  $\varepsilon_b = \frac{\Delta l}{l_0}$ , где  $l_0$  – базовая длина при испытаниях волокон на прочность, определяется экспериментально.

Жесткость всех волокон компонента пряжи равна жесткости одного волокна, умноженной на количество  $m_i$  волокон данного  $i$ -го компонента, доля по массе которого в смеси задана и обозначается  $\beta_i$ .

Средняя линейная плотность волокон в смеси вычисляется по формуле:

$$\bar{T} = \frac{1}{\sum_i^n \frac{\beta_i}{T_i}}. \quad (2)$$

Разрыв в пряже наиболее вероятен в тонком ее сечении, в котором присутствует минимальное количество волокон. Используя правило «3-х сигм» можно предположить, что с вероятностью 0,997 минимальная линейная плотность пряжи составляет:

$$T_{\min} = \bar{T}_{\text{пр}} - 3\sigma \quad (3)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, связанное с коэффициентом вариации  $C$ :

$$C = \frac{\sigma}{\bar{T}_{\text{пр}}}. \quad (4)$$

При этом значение  $C$  надо определять как значение градиента неровности, соответствующее отрезкам длиной 500 мм, т.к. это есть зажимная длина при испытаниях прочности пряжи.

Число волокон в тонком сечении пряжи находится по формуле:

$$m = \frac{T_{\min}}{T}. \quad (5)$$

Затем в соответствии с долевым участием компонентов в смеси надо найти число волокон каждого из компонентов в этом сечении. При этом следует учесть, что от долей  $\beta_i$  компонентов по массе надо перейти к долям по числу волокон  $\alpha_i$ :

$$\alpha_i = \frac{\beta_i (\bar{l}_i T_i)^{-1}}{\sum_1^n \frac{\beta_i}{\bar{l}_i T_i}}, \quad (6)$$

где  $\bar{l}_i$  средняя длина волокна  $i$ -го компонента.

Затем определяются соотношения  $e_i$  жесткости каждого компонента к наиболее жесткому:

$$e_i = \frac{E_i F_i}{(E_i F_i)_{\max}}. \quad (7)$$

В результате получается вектор, содержащий число элементов, равное количеству компонентов, на месте номера по порядку самого жесткого компонента в векторе стоит 1, а остальные элементы меньше 1. Полученный вектор включается в формулу прочности пряжи следующим образом:

$$P = T_* (e_1 + \dots + 1 + \dots + e_n) \cdot \overline{\cos \mathcal{G}}, \quad (8)$$

где  $T_*$  – прочность самого жесткого компонента;  $\overline{\cos \mathcal{G}}$  – среднее значение косинуса угла ориентации волокон в пряже относительно оси пряжи, определяемое по формуле:

$$\overline{\cos \mathcal{G}} = \frac{2 \cos \beta (1 - \cos \beta)}{\sin^2 \beta}, \quad (9)$$

где  $\beta$  – угол кручения (угла ориентации наружных волокон в пряже относительно оси пряжи).

Следующий элемент в модели прочности пряжи – учет особенностей разрушения волокон наиболее жесткого компонента, который разрушается первым. Механизм разрушения представляет собой последовательный разрыв волокон, начиная с самого слабого волокна, дальнейшего перераспределения нагрузки на остальные волокна и т. д. Описанный механизм можно учесть коэффициентом реализации средней прочности волокон  $k$  по следующей формуле:

$$k = \frac{(ae)^{\frac{1}{\alpha}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – параметр распределения Вейбулла прочности волокон;  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$  – гамма функция Эйлера.

Распределение Вейбулла имеет два параметра:  $\alpha$  и  $\rho_w$ , которые находятся из системы уравнений, определяющих среднюю прочность волокон  $\overline{\rho_b}$  и дисперсию прочности волокон  $D$ :

$$\begin{aligned} \overline{\rho_b} &= \rho_w \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \\ D &= \rho_w^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Среднюю прочность волокон в зависимости от их длины определяют из формулы:

$$\overline{\rho_b}(l) = \rho_w \left(\frac{l_0}{l}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (12)$$

Далее учитывается тот факт, что часть волокон не рвется при разрыве пряжи, а проскальзывает. Длина проскальзывающего участка волокна  $l_c$  определяется следующим выражением:

$$l_c = \sqrt{\frac{a \cdot Q}{2\mu(1 - \cos^2 \beta)}}, \quad (13)$$

где  $a$  – радиус волокна;

$Q$  – длина волны миграции, которую можно принять равной четырем длинам волны крутки  $K_{np} : Q = 4 \cdot 1000 / K_{np}$ ;  $\mu$  – коэффициент трения волокна по волокну.

После определения длины проскальзывания  $l_c$  можно найти длину волокна  $l$ , воспринимающую и передающую нагрузку:

$$l = \bar{l}_B - 2l_c. \quad (14)$$

Проскальзывание волокон характеризуется коэффициентом скольжения  $k_c$ :

$$k_c = 1 - \frac{2}{3\bar{l}_B} \sqrt{\frac{\alpha \cdot Q}{2\mu(1 - \cos^2 \beta)}}. \quad (15)$$

Окончательный результат расчета прочности пряжи  $P_R$  из многокомпонентной смеси получается по следующему выражению:

$$P_R = \bar{\rho}_B(l) \cdot m_* \cdot (e_1 + \dots + 1 + \dots + e_n) \cdot k \cdot k_c \cdot \overline{\cos \vartheta}. \quad (16)$$

Сомножители в последней формуле определяются вышеприведенными выражениями (1 – 16), а  $m_*$  обозначает количество волокон самого жесткого компонента в пряже и определяется по формуле:

$$m_* = \alpha_1 \cdot m, \quad (17)$$

где  $\alpha_1$  – доля по количеству волокон самого жесткого компонента,  $m$  – количество волокон в тонком сечении пряжи.

Для получения функции прочности использовался аналитический метод, согласно которому составлены программы в системе Mathcad<sup>©</sup> фирмы РТС.

Поскольку планировалось получать пряжу из разного количества компонентов, составлены три варианта программ для 2-х, 3-х и 4-х компонентных смесей.

Для примера рассмотрены результаты работы программы оптимизации трёхкомпонентной смеси НИТОКС/Тварон/шерсть.

Для расчета прочности 3-х компонентной смеси целесообразно воспользоваться специальными планами, основанными на симплекс-решетчатых матрицах, например матрицах Шеффе.

Используя линейную модель расчетного кислородного индекса пряжи, получаем задачу оптимизации в следующей формулировке.

Найти максимум функции:

$$K_{ind}(\beta_1, \beta_2, \beta_3) = 44\beta_1 + 28,5\beta_2 + 25,2\beta_3$$

При ограничениях:

$$0,2 \leq \beta_1 \leq 0,7; \quad 0,2 \leq \beta_2 \leq 0,8; \quad 0,2 \leq \beta_3 \leq 0,6;$$

$$P_R(\overline{\beta_{opt}}) = 249,0\beta_1 + 1809\beta_2 + 192,4\beta_3 - 267,1\beta_1\beta_2 - 119,3\beta_1\beta_3 +$$

$$20,0\beta_2\beta_3 \geq 850$$

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1.$$

Решение в среде Mathcad дает следующий результат:

$$\beta_{1opt} = 0,376; \quad \beta_{2opt} = 0,424; \quad \beta_{3opt} = 0,20$$

$$K_{ind}(\overline{\beta_{opt}}) = 33,7\%; \quad P_R(\overline{\beta_{opt}}) = 850сН$$

Если округлить доли компонентов, то можно рекомендовать следующий состав смеси: НИТОКС 40%, Тварон 40%, шерсть 20%. В работе приведены результаты оптимизации всех рассмотренных вариантов смесей.

Были проведены экспериментальные исследования по выработке образцов пряжи и тканей с целью оптимального выбора смесей волокон для последующей разработки ассортимента и технологий производства огнезащитных тканей.

Экспериментальные образцы пряжи, выработанные из разных составов сырья (11 вариантов) кольцевым способом прядения на лабораторной установке ф. Шерли, были испытаны в испытательном центре «ЦНИХБИ» (физико-механические показатели) и испытательном центре ЗАО «Курскрезинотехника» (кислородный индекс).

Пряжа в количестве 7 образцов, выбранных как наилучшие по огнезащитным свойствам, была переработана в ткань.

Экспериментальные образцы суровых тканей подвергались оценке соответствия защитных свойств (стойкость к прожиганию и огнестойкость) предъявляемым требованиям к тканям для спецодежды в Научном испытательном центре «Одежда» (ОАО «ЦНИИШП»), а также испытаниям на устойчивость тканей к выплескам расплавленного алюминия в производственных условиях.

В условиях металлургического комбината исследовалось поведение образцов тканей во время проведения испытаний: на поверхность ткани выливался расплавленный ( $t=1000^{\circ}\text{C}$ ) алюминий и визуально оценивалось, скатывается ли металл, или прилипает, прогорает ли при этом ткань, имеется ли изменение линейных размеров, появление запаха, дыма, хрупкости и ломкости ткани.

На основании результатов проведённых экспериментальных исследований для разработки технологии огнезащитных тканей в качестве базовых волокон был подтвержден ранее сделанный выбор следующих отечественных огнестойких волокон: термоокисленное полиакрилонитрильное волокно Нитокс<sup>®</sup> и арамидное волокно Русар<sup>®</sup>.

**Глава 5** посвящена экспериментальным и производственным исследованиям выработки текстильных огнезащитных пряжи и тканей с использованием аппаратной системы прядения шерсти.

Выбор аппаратной системы прядения шерсти был определён двумя факторами: традиционным использованием шерстяного сукна для производства одежды для металлургов и хрупкостью термоокисленного полиакрилонитрильного волокна, имеющего, в то же время, высокий показатель кислородного индекса.

На основании проведённых исследований с использованием малогабаритной прядильной установки ф. Шерли были выбраны два варианта оптимальных смесей для выработки опытно-промышленных партий пряжи в производственных условиях ОАО «Сукно».

На основании разработанной технологии прядения и выработки опытно-промышленных партий пряжи составлены технологические режимы производства пряжи.

Составление проектов тканей осуществлялось по заданному весу  $1\text{м}^2$  и ряду принятых типовых признаков из нитей определённого состава, обладающих комплексом известных свойств.

Анализ структур выпускаемых термо-, огнестойких тканей показывает, что они имеют ряд общих структурных признаков с тканями, предназначенными для изготовления спецодежды: ткани основоплотные, то есть  $\frac{P_o}{P_y} > 1$  (за не-

которыми исключениями); основные и уточные нити идентичны по составу и чаще всего имеют одинаковую линейную плотность  $T_o = T_y$ , но допускается  $T_y > T_o$ ; переплетения – главные и их производные. Наиболее распространёнными переплетениями являются саржи  $2/1$ ;  $3/1$ ;  $2/2$ . Возможны переплетения усиленный атлас, неправильный атлас, двухслойные и полутораслойные; в зависимости от назначения поверхностная плотность тканей находится в диапазоне 180-500 г/м<sup>2</sup>, но основной диапазон находится в пределах 220-400 г/м<sup>2</sup>.

Базовые заправки проектировались на основе этих данных, дополненных следующими предпосылками: заданные диапазоны поверхностных плотностей ткани 400-550 г/м<sup>2</sup>; возможный ряд линейных плотностей 71,4 - 83,3 текс; в основе используется только кручёная (в два сложения) пряжа; в утке используется как кручёная (основным образом), так и одиночная пряжа; - соотношение диаметров нитей основы и утка  $\frac{d_o}{d_y} \leq 1$ .

Для ткани поверхностной плотности 400-550 г/м<sup>2</sup> разработаны ткацкие рисунки: для ткани «Пламя» - усиленный сатин (обр. 038), для ткани «Огонь» - усиленный сатин 039, двухслойная 040, двухслойная 041. Заправочные расчёты выработки тканей приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели	Значения показателей по заправкам			
	«Пламя» образец 038	«Огонь» образец 039	«Огонь» образец 040	«Огонь» образец 041
Состав пряжи	Нитокс® - 40% Русар® - 20% Шерсть -32% Капрон – 8%		Нитокс® - 40% Русар® - 20% Шерсть -40%	
Линейная плотность, текс (N <sub>m</sub> ) основа	83,4 текс x 2 (12/2)	78,9 текс x 2 (1,7/2)	75,7 текс x 2 (13,2/2)	77,5 текс x 2 (12,9/2)
уток	80,1 текс x 2 (12,5/2)	82,8 текс x 2 (12,1/2)	75,1 текс x 2 (13,3/2)	73,5 текс x 2 (13,6/2)
Плотность нитей по основе, Н/10 см	136	134	137	135
Плотность нитей по утку, Н/10 см	150	152	155	132
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	534	496	509,8	457
Переплетение	Усиленный сатин		Двухслойная ткань	

Суровые ткани созданного ассортимента по показателю прочности при раздире превышают аналогичный показатель требований более, чем в 2 раза.

Выработанные в производственных условиях ОАО «Сукно» (г. Минск, Республика Беларусь) опытные ткани образцов 038, 039, 040 и 041 предвари-

тельно были исследованы на огнезащитные свойства по показателям кислородный индекс и огнестойкость. Результаты определения огнезащитных свойств суровых образцов опытно-промышленной партии ткани представлены в таблице 4.

Таблица 4

Номер опытного образца	Номер опытного образца		Высота обугливания, мм	Кислородный индекс, %
	Остаточное горение, с	Остаточное тление, с		
038 «Пламя»	60	3	200	25,7
039 «Огонь»	45	1	190	27,7
040 «Огонь»	5	отсутствует	85	28,1
041 «Огонь»	10	отсутствует	75	28,8

Анализ данных, представленных в таблице 4, показывает, что суровые ткани, выработанные с вложением огнестойких волокон, не обладают достаточной огнестойкостью, особенно обр. 038 и 039 с сатиновым переплетением. Показатель кислородного индекса ткани колеблется в пределах 25,7-28,8% (при норме не менее 28%), причём данный показатель для пряжи из трёхкомпонентной смеси (обр. 039, 040, 041) составляет 30,6%, а для пряжи из четырёхкомпонентной смеси (обр. 038) – 31,6%.

Принимая во внимание значительное обугливание суровых образцов, для достижения требуемых огнезащитных свойств необходима отделка огнестойкими препаратами. Проведены экспериментальные исследования по влиянию различных антипиренов на огнезащитные свойства ткани. В качестве препаратов были выбраны четыре антипирена различного типа, которые используются в промышленности: Рукофлам NAF, Афлатекс S, Фогинол-2, Афламит® Т1. Результаты исследований представлены на рисунке 4.

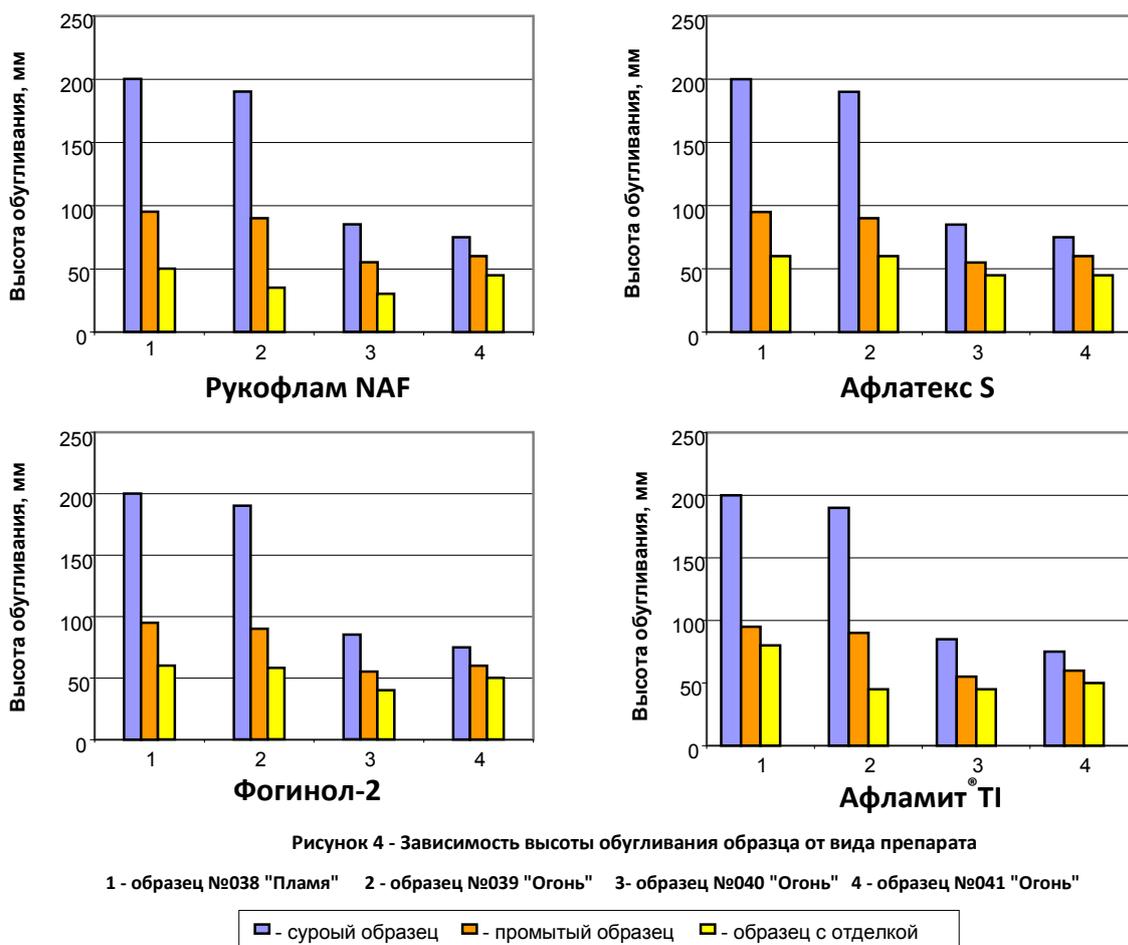
Анализ данных свидетельствует о том, что после обработки указанными препаратами ткани приобретают огнезащитные свойства – отсутствует остаточное горение и остаточное тление при выносе образца из пламени, уменьшается степень обугливания.

На основании лабораторных испытаний для отделки выработанной опытно-промышленной партии ткани в производственных условиях был выбран препарат Рукофлам NAF, который обеспечивает наилучшие стабильные результаты. Обработанные образцы не горят и не тлеют при выносе из пламени и меньше обугливаются. Применение данного препарата в концентрации 200г/л позволяет получить огнестойкость, устойчивую к химчистке.

Выпуск опытно-промышленной партии на ОАО «Сукно» позволил установить следующее.

По разрывным, раздирающим и остальным физико-механическим и гигиеническим характеристикам разработанные ткани значительно превосходят требования ГОСТ 12.4.105-81 «Ткани и материалы для спецодежды сварщиков».

Разработанные ткани поверхностной плотности 450-550 г/м<sup>2</sup> по специальным защитным свойствам: по кислородному индексу и стойкости к прожиганию превосходят требования ГОСТ, а по огнестойкости соответствуют техническим требованиям указанного ГОСТ.



По заключению ИЦ ООО «НИИОТ в г. Иваново» разработанные четыре ткани (из разных вариантов смесей и структур тканей) с применением огнезащитных препаратов могут быть рекомендованы для изготовления спецодежды для сварщиков и металлургов и средств защиты рук. Наилучшие результаты были получены на ткани двухслойного переплетения.

По стойкости к воздействию брызг расплавленного металла лучшие результаты получены для образцов с переплетением усиленный сатин, имеющих более гладкую и ровную поверхность: обр. 039 (21 капля по основе и 18 капель по утку) и особенно обр. 038, содержащего капрон (28 капель по основе и 27 капель по утку). Образцы с двухслойным переплетением 040 и 041 имеют более низкие показатели: 16-17 капель по основе и 15-18 капель по утку. Однако для всех образцов характерно прилипание капель расплавленного металла к поверхности пробы. Пробы ткани обугливаются с лицевой и изнаночной сторон, тогда как согласно специальным требованиям ткань не должна удерживать брызги расплавленного металла. Для исключения данного дефекта дальнейшие исследования по созданию огнезащитных тканей проводились с использованием пряжи, выработанной по кардной системе прядения хлопка.

**Глава 6** посвящена исследованиям в области производства огне- и термозащитных тканей поверхностной плотности 250-350 г/м<sup>2</sup> с использованием

пряжи, выработанной по кардной системе прядения хлопка. По результатам исследований, представленных в главе 4, выбраны оптимальные представители огне-, термостойких волокон с высоким кислородным индексом, а именно: высокопрочное, высокомодульное параарамидное волокно Русар<sup>®</sup>; трудногорючее с наиболее высокими огнестойкими свойствами термоокисленное полиакрилонитрильное волокно Нитокс<sup>®</sup>;

- метаарамидное термостойкое волокно Кермель<sup>®</sup>.

Каждое из этих волокон на фоне общих высоких физико-механических свойств, обладает своими уникальными специальными свойствами, которые наиболее выгодно проявляются в сочетании их друг с другом.

Исследования при выработке опытно-промышленных партий пряжи ткацкого назначения проводилась в производственных условиях ООО «Чайковская текстильная компания» по кардной системе прядения хлопка и его смесей с химическими волокнами. На основании исследований разработаны технологические режимы производства смесовой огнезащитной пряжи линейных плотностей 25 текс x 2 и 29 текс x 2.

Выбор структур тканей поверхностной плотности 250-350 г/м<sup>2</sup> проводилась по принципам, изложенным в главе 5. Определена область возможного проектирования тканей в пределах заданного диапазона 250-350 г/м<sup>2</sup> с точки зрения исходного ряда заправок по основе: 25 текс x 2, 29 текс x 2 и соответствующих им линейным плотностям уточных нитей.

На основании производственных испытаний были скорректированы окончательные заправочные расчёты тканей, таблица 5.

Таблица 5 – Заправочные расчёты опытных суровых тканей

Показатели	Значения показателей по заправкам:		
	Образец 042	Образец 043	Образец 044
Состав пряжи	Русар <sup>®</sup> 65% Кермель <sup>®</sup> 35%	Хлопок 75% Русар <sup>®</sup> 25%	Нитокс <sup>®</sup> 40% Русар <sup>®</sup> 40% Кермель <sup>®</sup> 20%
Линейная плотность пряжи основы и утка, текс	25 текс x 2	29 текс x 2	29 текс x 2
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	250	300	340
Плотность нитей на 10 см - основа - уток	283 177	316 170	335 200
Переплетение	Саржа 2/1	Саржа 3/1	Обр. 044/1 Усиленный восьмиремизный атлас Обр. 044/2 Двухслойная ткань
Назначение	Сварщики и металлурги	Спецподразделения силовых структур	Сварщики и металлурги

Показатели огнестойкости, полученные при испытании суровых тканей, позволяют прогнозировать соответствие готовых тканей исходным требованиям. Исследования и разработка оптимальных режимов заключительной отделки тканей, выработанных из 100% огнестойких волокон (обр. 042 и обр.

044), проводились в двух направлениях: разработка параметров мягкой отделки тканей, получение на ткани комплекса перманентных огне-, термозащитных и масло-, водоотталкивающих свойств.

С целью улучшения товарного вида тканей и, в частности, грифа использовали препарат Анзал КС. Он представляет собой густую эмульсию белого цвета, на основе полимерных продуктов, хорошо смешивается с холодной водой, не образует пены в рабочем растворе, не вызывает пожелтения и изменения оттенка обработанных материалов.

В таблице 6 представлены данные, характеризующие огнестойкость суровых тканей, отделанных Анзалом КС, в сравнении с неотделанными, до и после 5 химчисток.

Таблица 6 – Огнестойкость тканей с мягкой отделкой МО

Огнестойкость	Образец 042				Образец 044/1			
	суровый		отделанный		суровый		отделанный	
	исх.	после 5 химчисток	исх.	после 5 химчисток	исх.	после 5 химчисток	исх.	после 5 химчисток
остаточное горение, с	0	0	0	0	0	0	0	0
остаточное тление, с	0	0	0	0	0	0	0	0
высота обугливания, мм	20	-	20	25	23	-	21	20

Как видно из таблицы 6, обработка ткани Анзалом КС не ухудшает огнестойкости, как исходной ткани, так и после 5 химчисток.

Обработка Анзалом КС может быть рекомендована для отделки суровых тканей, изготовленных из огнестойких волокон. Данная отделка не только улучшает товарный вид ткани (поверхность становится более гладкой), но позволяет уменьшить осыпаемость волокна Нитокс® с ткани в процессе эксплуатации готовых изделий.

Для придания масло-, водоотталкивающих свойств (МВО) опытным огнезащитным тканям проводили обработку образцов препаратом Фоборит Р (ООО «НПФ Траверс» г. Москва).

Как показали исследования, подобранные препараты для придания тканям масло-, водоотталкивающих свойств позволяют не только обеспечить эти свойства, сохраняющиеся после 5 стирок и 5 химчисток, но и сохранить огнезащитные свойства, также не ухудшающиеся после 5 стирок, таблица 7.

Таблица 7 - Огнестойкость тканей, обработанных Фоборитом Р

Огнестойкость	Образец 042			Образец 044/1		
	исходная ткань	после 5 стирок	после 5 химчисток	исходная ткань	после 5 стирок	после 5 химчисток
Остаточное горение, с	0	0	0	0	0	0
Остаточное тление, с	0	0	0	0	0	0
Высота обугливания, мм	10	12	27-28	16	10	25

Для придания огнезащитных свойств смешанной ткани, состоящей из хлопка (75%) и огнестойкого волокна Русар (25%) обр. 043 необходимо защитить хлопковую составляющую. Для этих целей был использован препарат Фогинол. Данный препарат предназначен для придания эффекта огнезащиты текстильным материалам из целлюлозных волокон и их смесей с синтетическими волокнами (до 50%).

Результаты отделки, представленные в таблице 8, оценивали по огнестойкости как исходной ткани, так и после 5 стирок и 5 химчисток.

Таблица 8 – Огнестойкость ткани, обработанная препаратом Фогинол

Показатель огнестойкости	Рецепт 1			Рецепт 2			Рецепт 3		
	Исх. ткань	После 5 стирок	После 5 химчисток	Исх. ткань	После 5 стирок	После 5 химчисток	Исх. ткань	После 5 стирок	После 5 химчисток
Остаточное горение, с	0	Образец полностью сгорел	0	0	Образец полностью сгорел	0	0	Образец полностью сгорел	0
Остаточное тление, с	0		0	0		0	0		0
Высота обугливания, мм	57		65	53		63	40		45

Как видно из таблицы 8, препарат Фогинол, как индивидуально (рецепт 1), так и в смеси с терморезактивной смолой (рецепты 2 и 3) обеспечивает на ткани огнестойкость, т.е. ткани не горят и не тлеют после выноса из пламени.

Однако, достигнутая огнестойкость неустойчива к стиркам, но устойчива к химчисткам. После 5 химчисток ткань не горит и не тлеет после выноса из открытого пламени. Высота обугливания в среднем увеличивается на 10 мм по сравнению с исходной тканью. Следовательно, препарат Фогинол может быть использован для придания огнестойкости смешанной ткани, содержащей хлопок и огнестойкое волокно Русар<sup>®</sup>, которая, подвергается только химчисткам.

Для получения на смешанной ткани огнестойкости, устойчивой не только к химчисткам, но и к стиркам исследовали режимы огнестойкой отделки по технологии «Пироватекс» (ПРВ) и «Пробан» (ТА). Результаты исследований представлены в главе 7.

Как показали результаты исследований, обработка ткани по этим технологиям позволяет получить на ткани огнестойкость, устойчивую к пяти стиркам и пяти химчисткам.

**Глава 7** посвящена комплексным материаловедческим исследованиям готовых огне- и термозащитных тканей образцов 044/1, 044/2, 042 и 043 по результатам анализа их физико-механических, гигиенических и специальных свойств. Исследования проводились в аккредитованных лабораториях и производствах ОАО «ЦНИТИ», НПП «Армоком-Центр», ООО «НИИОТ в г. Иваново», ФГУ ВНИИПО МЧС России, ОАО «Ижсталь».

В работе представлены исследования, анализ и результаты по каждому виду тканей. Ниже приведены результаты сравнительных исследований огнезащитных тканей различных способов производства:

вариант 1 – сочетание огнестойких и натуральных волокон с огнестойкой пропиткой (образец 043- - 75% хлопка, 25% Русар<sup>®</sup>);

варианты 2 и 3 – смесь огнестойких волокон (№ 2 - 044/2 – 40% Нитокс<sup>®</sup>, 40% Русар<sup>®</sup>, 20% Кермель<sup>®</sup>, №3 - 042 – 65% Русар<sup>®</sup>, 35% Кермель<sup>®</sup>).

Зависимости разрывной и раздирающей нагрузки, стойкости к истиранию от вида ткани представлены на рисунках 5-7.

Анализ физико-механических и гигиенических свойств тканей, полученных различными способами в сравнении с ГОСТ 12.4.105-81 и ГОСТ 12.4.221-2002 показал превышение практически всех показателей, как по основе, так и по утку, за исключением показателя «гигроскопичности» у ткани варианта 3.

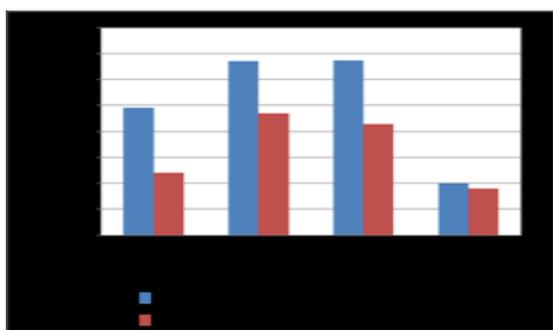


Рисунок 5 – Зависимость разрывной нагрузки от вида ткани

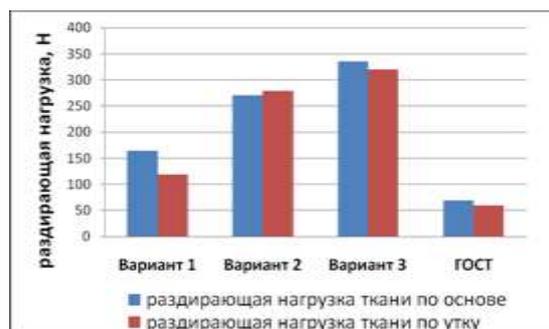


Рисунок 6 – Зависимость раздирающей нагрузки от вида ткани

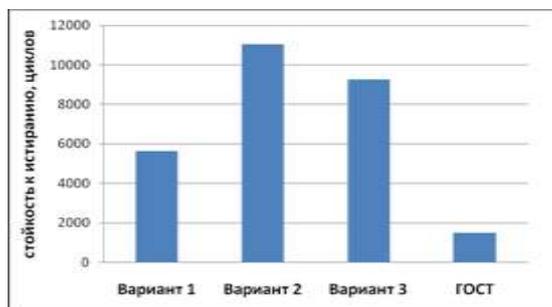


Рисунок 7 – Стойкость к истиранию

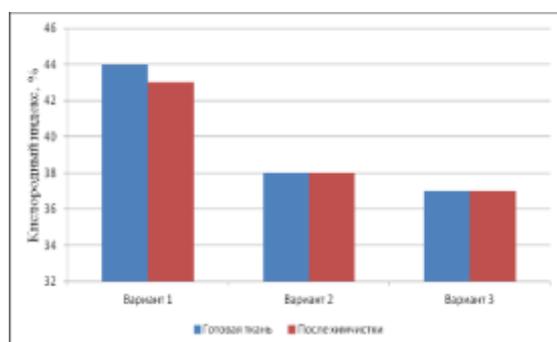


Рисунок 8 – Кислородный индекс

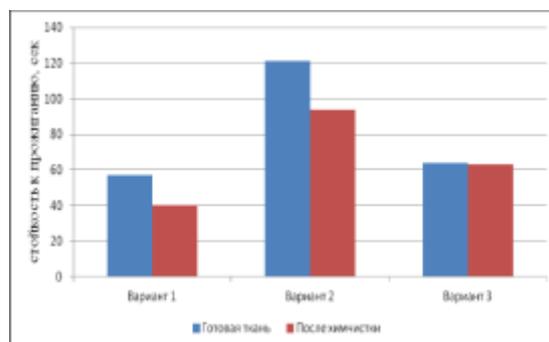


Рисунок 9 – Стойкость к прожиганию

Так, увеличение разрывной нагрузки тканей варианта 1 превышает требования ГОСТ по основе в 2,0 раза, по утку – в 1,3 раза, у тканей вариантов 2 и 3 по основе - в 3,0 раза, по утку – в 2,5 раза. Такая тенденция наблюдается и по

показателю «раздирающая нагрузка». Стойкость к истиранию превышает показатели ГОСТ у ткани варианта 1 в 3,7 раза, а у тканей вариантов 2 и 3 – в 6 раз.

Кроме того, после химчистки свойства тканей по всем вариантам не изменяются, а по показателю «стойкость к истиранию» - возрастают.

Если сравнить ткани варианта 1 и вариантов 2 и 3, то отмечается повышение прочностных показателей и стойкости к истиранию у тканей, выработанных из 100% огнестойких волокон.

Для тканей спецодежды немаловажное значение имеют и потребительские свойства, такие как, воздухопроницаемость, гигроскопичность и удельное электрическое сопротивление. Анализ тканей показал, что наилучшие гигиенические свойства обеспечивают ткани, произведённые из смеси натуральных и огнестойких химических волокон в сочетании с пропиткой.

Анализ специальных защитных свойств в лабораториях научно-исследовательского института охраны труда ООО «НИИОТ в г. Иваново» показал:

- все ткани обладают огнестойкостью, т.е. не горят и не тлеют при удалении из пламени после выдерживания их в пламени в течение 30 сек, что соответствует показателям ГОСТ;

- все ткани имеют высокие значения КИ (кислородного индекса) от 36-44%, что отвечает требованиям ГОСТ – не менее 28% (рисунок 8).

У готовых опытных тканей, выработанных из 100% огнестойких волокон (обр. 042, 044/1, 044/2) с различными отделками, а также после стирок и химчисток кислородный индекс равняется 37-38%. Хотя отмечен высокий кислородный индекс (КИ) всех разработанных тканей, в то же время у тканей с пропиткой КИ выше на 15% по сравнению с тканями из 100% огнестойких химических волокон. Следует отметить, что стойкость к прожиганию у тканей 2 и 3 вариантов из 100% огнестойких волокон выше в 1,1-2 раза, чем у тканей варианта 1 из огнестойких и натуральных волокон в сочетании с пропиткой (рисунок 9). Кроме того, что существенно, стойкость к прожиганию у тканей после 5 химчисток снижается, но только у ткани с пропиткой (вариант 1) этот показатель отмечается ниже требований ГОСТ, что подтверждает преимущество использования тканей из 100% огнестойких волокон для особо жёстких условий эксплуатации.

Пониженное значение показателя стойкости к прожиганию объясняется недостаточно высокой поверхностной плотностью тканей и их структурой. Только готовая ткань обр. 044/1 и обр. 044/2, имеющая в своём составе волокно Нитокс<sup>®</sup>, имеет показатель стойкости к прожиганию, равный соответственно 101,6 сек. и 121 сек. и соответствует требованию ТЗ, не менее 100 сек. Эта ткань по своей структуре двухслойная и имеет толщину 0,98 мм.

Уровнем теплозащиты 2 балла (ТЗ – 2 балла) обладают все ткани, кроме ткани обр. 042 с отделками МО и МВО, для которых этот показатель равен 1 баллу.

Показатель суммарного теплового сопротивления для исследуемых тканей находится в интервале от 0,236 м<sup>2</sup>°С/Вт (обр. 042 с отделкой МВО) до 0,259 м<sup>2</sup>°С/Вт (обр. 044/1 отделка МВО) по ТЗ – 0,340 м<sup>2</sup>°С/Вт.

Практически все ткани сохраняют свои показатели после пяти химчисток и рекомендуются к использованию в зависимости от предъявляемых требований в эксплуатации.

Испытания, проведённые на ОАО «Ижсталь» в сталеплавильном цехе, где на образцы тканей, расположенных под углом, ковшем выливали расплавленный металл, лучшие результаты получены у обр. ткани 044/1 – металл быстро скатывается, не прилипает, не прожигает. Остальные образцы тканей не горят, но к обр. 042 металл прилипает и прожигает, а на обр. 043 металл скатывается, не прилипает, но прожигает.

Учитывая, что стоимость тканей, произведённых из 100% химических огнестойких волокон, выше стоимости тканей, произведённых из смеси натуральных и огнестойких химических волокон с огнезащитной пропиткой, у потребителя есть возможность из серии разработанных тканей осуществить выбор, учитывая фактор «цена – качество».

Разработаны ассортимент и технологические режимы производства огнезащитной пряжи по аппаратной системе прядения шерсти и кардной системе прядения хлопка и смесей с химическими волокнами, суровых и готовых тканей.

Разработаны ТУ, получены сертификаты соответствия и гигиенические сертификаты на разработанные ткани. Указанные технологические режимы производства внедрены на ОАО «Сукно» (г. Минск), ООО «Чайковская текстильная компания», выпущены промышленные партии готовой продукции.

**Глава 8** посвящена выбору составов и тестированию пакетов для моделей спецодежды и исследованию термоизолирующих свойств материалов в пакете.

Разнообразие климатических условий на территории РФ обуславливает необходимость создания спецодежды с различными теплофизическими параметрами. Конструкция одежды должна обеспечивать комфортные условия труда в течение всего рабочего времени. В основе специальной одежды лежит понятие «Пакета теплозащитных материалов».

Специальная одежда бывает: однослойной, т.е. изготавливается из одного слоя материалов; многослойной, в которой между внешней и внутренней поверхностями располагается несколько слоёв материалов: в летней одежде – ткань верха, подкладка, а в зимней одежде – и утепляющая подкладка.

Пакетом теплозащитных материалов называется совокупность нескольких слоёв материала в многослойной одежде. Она, как правило, состоит из: ткани верха, ткани ветрозащитной, одного или нескольких слоёв утеплителя и материала подкладки.

Количество и состав слоёв рассчитываются для конкретных климатических условий и определяется категорией выполняемой работы. В зимней спецодежде, как правило, бывает три слоя: материал верха, утеплитель, подкладка или четыре слоя: материал верха, ветрозащитная ткань, утеплитель, подкладка.

Защитные свойства пакета материалов для спецодежды оцениваются по критерию суммарного теплового сопротивления. Суммарное тепловое сопротивление – это способность комплекта одежды (бельё, тёплая одежда, зимняя специальная одежда) препятствовать охлаждению организма под воздействием

ветра и холодного атмосферного воздуха в условиях работы. Верх костюма может эксплуатироваться в комплекте с пристёгивающейся утепляющей подкладкой или с утеплённым бельём, или с тем и с другим. Для каждого климатического пояса этот показатель различен, т.к. в каждом климатическом поясе наблюдается свой температурный режим, различная влажность воздуха, скорость ветра. В рамках данной работы выбор составов пакетов проводился для летних и зимних моделей спецодежды сварщиков и металлургов, пожарных и силовых структур

Испытания пакетов проводились в условиях испытательного центра ООО «НИИОТ в г. Иваново», ООО НПП «Армоком», ФГУ ВНИИ по МЧС России.

Кроме того, были проведены производственные испытания пакетов на устойчивость их к брызгам и потокам расплавленного металла на металлургическом заводе.

Как пример, на рисунке 10 приведены исследования термоизолирующих свойств материала в пакете для водителей бронетанковой военной техники.

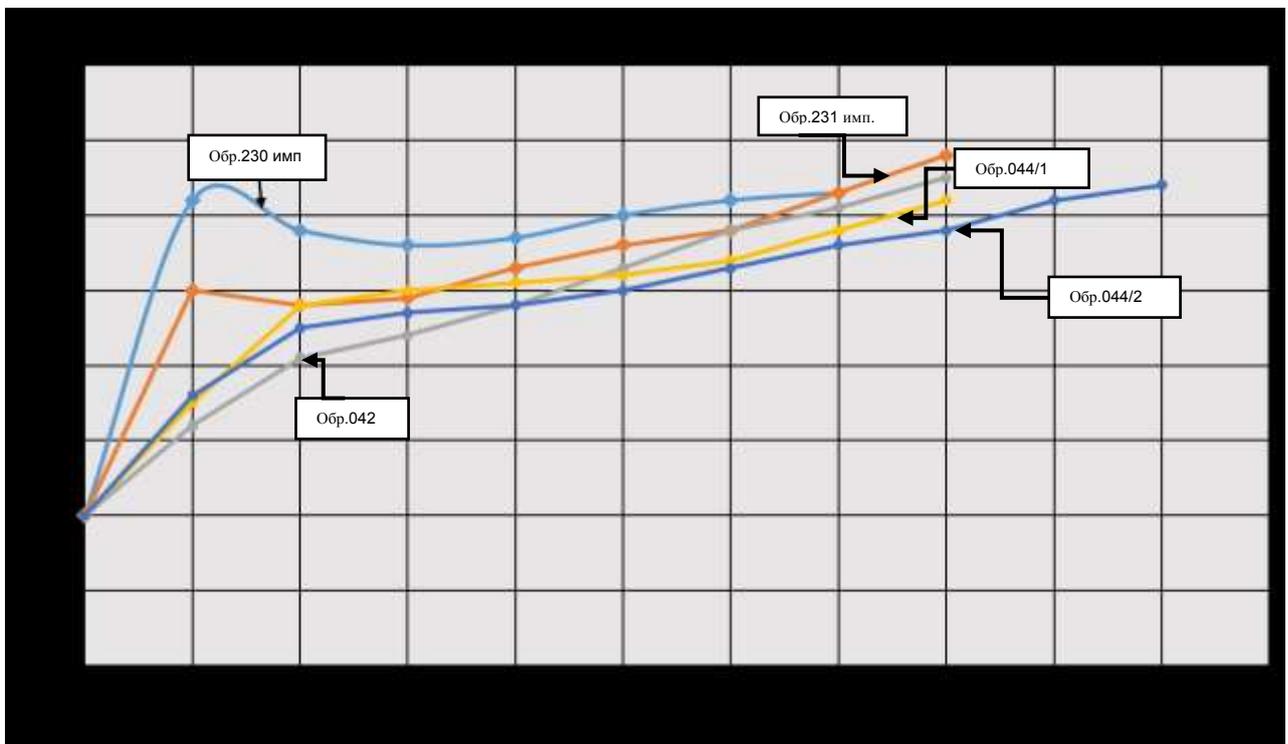


Рисунок 10

На основании проведённых исследований пакетов следует, что термоизолирующие свойства всех образцов огне- и термозащитных тканей удовлетворительные и составляют не менее 35 секунд при нагревании тена до 3000С.

На основании проведённых испытаний разработанных тканей во ФГУ ВНИИПО МЧС России, ООО «НИИОТ в г. Иваново», НПП «Армоком-Центр» даны рекомендации по их использованию.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

1. Разработаны направления создания и требования к отечественным огне-, термозащитным текстильным материалам на базе применения пряжи из отечественных огнестойких химических волокон и их смесей с натуральными волокнами в сочетании с поверхностными пропитками для металлургов и сварщиков, спецподразделений силовых структур.

2. Построены модели изменения скорости горения в виде нелинейных дифференциальных уравнений, решение которых было получено численными методами. Модели описывают горение твердых и пористых материалов с учётом температуры горения, энергии активации процесса горения и их влияния на динамику горения. Наряду с ними была построена модель распространения фронта горения по поверхности двумерного материала (ткани), имитирующая эксперимент по проверке огнестойкости образца материала.

3. Полученные кривые распространения температурного фронта показали, что при значениях коэффициента теплопроводности, превышающих критический уровень, возникает эффект самоподдерживания горения за счёт энергии новых участков материала. Поэтому интенсивность горения может усилиться, что способствует распространению горения по поверхности материала. Установлено, что динамика поведения теплового фронта остаточного горения и процесс горения существенно зависят от температуры горения и параметров материала.

4. Проведенные исследования свойств отечественных и зарубежных высокомодульных, высокопрочных и огне-, термостойких волокон и нитей, имеющих высокий кислородный индекс, позволили выявить общие специальные свойства, характеризующие каждый вид указанных волокон, при этом уровень свойств отечественных и импортных волокон примерно одинаков.

5. В результате проведённого сравнительного анализа основных характеристик волокон, характеризующих их свойства для обеспечения требований к огнезащитным материалам установлено, что: наибольшим значением кислородного индекса и температурой эксплуатации обладают термостабилизированные полиакрилонитрильные волокна; наилучшими разрывными свойствами обладают параарамидные волокна; наилучшими термостойкими свойствами (сохранение прочности при  $300^{\circ}\text{C}$ ) обладают метаарамидные волокна.

6. Проведена оптимизация сырьевых составов смесей средствами системы Mathcad для выработки огнезащитной пряжи с целью максимизации кислородного индекса пряжи, при этом применена аппроксимация зависимости прочности пряжи от состава смеси полиномами второго порядка.

7. Проведённые экспериментальные исследования по выбору оптимальных смесей волокон для выработки огнезащитных тканей, предназначенных для спецодежды, позволили оценить влияние предложенных смесей на специальные характеристики защиты от повышенных температур: искр, брызг расплавленного металла, огнестойкости, контакта с нагретыми поверхностями и т.д.

8. Впервые разработаны технологии переработки огнестойкого полиакрилонитрильного волокна в пряжу, как по аппаратной системе прядения шерсти, так и по хлопчатобумажной системе.

9. Создан новый ассортимент огнезащитных тканей поверхностных плотностей 250-350 г/м<sup>2</sup> и 450-550 г/м<sup>2</sup> на базе использования отечественных волокон: нового термо-, огнестойкого полиакрилонитрильного волокна Нитокс<sup>®</sup>, серийно выпускаемого параарамидного термостойкого волокна Русар<sup>®</sup> и натуральных волокон хлопка и шерсти, выбора новых структур тканей и оптимальных огнезащитных пропиток.

10. По комплексу физико-механических (разрывным, раздирающим), гигиенических (гигроскопичность, воздухопроницаемость) и специальных (кислородный индекс, стойкость к прожиганию) свойств разработанный ассортимент тканей поверхностной плотности 450-550 г/м<sup>2</sup> значительно превосходит технические требования, а по огнестойкости соответствуют техническим требованиям.

11. Разработаны и внедрены технологические режимы производства аппаратной пряжи из смеси огнестойких и шерстяных волокон, суровой ткани и оптимальные режимы заключительной отделки тканей поверхностной плотности 450-550 г/м<sup>2</sup>. Разработанные ткани поверхностной плотности 450-550 г/м<sup>2</sup> (из разных вариантов смесей и структур тканей) с применением огнезащитных препаратов могут быть рекомендованы для изготовления спецодежды для сварщиков и металлургов, наилучшие результаты были получены на ткани двухслойного переплетения.

12. Разработаны и внедрены технологические режимы производства кардной пряжи, суровой и готовой ткани поверхностной плотности 250-350 г/м<sup>2</sup> из смеси 100% огнестойких волокон и заключительной отделкой, а также смеси огнестойких и натуральных волокон с огнезащитной пропиткой.

13. Проведённые сравнительные исследования трёх технологий пропитки, обеспечивающих огнезащитную отделку тканей, содержащих хлопок и огнестойкие арамидные волокна показали, что: применение огнезащитного препарата типа Фогинол обеспечивает получение огнестойкости, устойчивой только к химчисткам; перманентные к стиркам и химчисткам огнестойкие свойства ткани обеспечиваются в результате огнестойкой отделки по технологии Пироватекс с использованием реакционноспособных соединений фосфора; по физико-механическим и гигиеническим свойствам ткани, отделанные по технологии «Фог» без термофиксации имеют преимущество перед тканями, отделанными по технологии Пироватекс и Пробан.

14. Анализ полученных физико-механических показателей показывает, что разработанные ткани поверхностной плотности 250-350 г/м<sup>2</sup> имеют высокий запас прочности, превышающий разработанные требования: разрывная и раздирающая нагрузки превышают в 2-3 раза по основе и до 2,5 раз по утку. Значительный запас прочности получен за счёт использования волокна Русар<sup>®</sup>, изготовленного из термостойкой нити, прочность которого на порядок выше, чем прочность остальных компонентов смесей.

15. Установлено, что разработанные ткани поверхностной плотностью 250-350 г/м<sup>2</sup> соответствуют гигиеническим требованиям, а именно: гигроскопичность смесевой ткани (75% хлопок/25% Русар<sup>®</sup>) составляет 15-20%, трёхкомпонентной ткани (Нитокс<sup>®</sup> - 40%, Русар<sup>®</sup> - 40%, Кермель<sup>®</sup> - 20%) – 10%. По воздухопроницаемости все ткани соответствуют требованиям, не более 100 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> с.

16. В результате проведённых исследований установлено, что все разработанные готовые ткани обладают огнестойкостью (остаточное горение и тление отсутствуют), имеют высокий показатель кислородного индекса (37-44%).

Использование в ткани термоокисленного волокна Нитокс<sup>®</sup> позволило увеличить стойкость к воздействию открытого пламени – время прогара – 365 сек, что в 3,5 раза выше в сравнении с двухкомпонентной тканью (Русар<sup>®</sup>, Кермель), а также обеспечить требования по показателю стойкости к прожиганию до 120 сек и устойчивость к брызгам расплавленного металла.

17. По уровню защиты от конвективной теплоты все ткани удовлетворяют требованиям ТЗ (2 балла), за исключением двухкомпонентной ткани, содержащей огнестойкие волокна Русар<sup>®</sup> и Кермель<sup>®</sup> (1 балл), что объясняется меньшей поверхностной плотностью ткани.

18. Экспериментальные исследования разработанных тканей и специальных свойств пакетов, таких как огнестойкость, стойкость к прожиганию, устойчивость к тепловому излучению и конвективной теплоте, воздухопроницаемость и комплексная защита от теплового излучения, искр и брызг расплавленного металла дают основание рекомендовать разработанные поверхностной плотности 250-350 г/м<sup>2</sup> для использования при изготовлении специальной одежды.

По заключению НПП «Армоком-Центр»:

- ткани, содержащие мета-, параарамидные волокна удовлетворяют требованиям, предъявляемым материалам для спецодежды и СИЗ. Эти материалы могут быть использованы для защитной одежды при эксплуатации в самых жёстких огнеопасных условиях;

- ткани, содержащие термоокисленное волокно ПАН (Нитокс) в сочетании с мета- и параарамидными волокнами, также являются огнестойкими, но из-за интенсивного дымовыделения, могут быть рекомендованы для использования вне замкнутого пространства или в виде накладок к спецодежде;

- у ткани, содержащей 75% хлопка и 25% волокно Русар с различными видами отделки, отмечено интенсивное дымовыделение и выход пламени наружу. Поэтому, такие ткани являются перспективными для спецодежды, защищающей от повышенных температур.

По заключению ФГУ ВНИИПО МЧС России в качестве материала верха для БОП может использоваться ткань из огнестойких волокон Русар<sup>®</sup>/Кермель<sup>®</sup> и ткань с использованием волокна Нитокс<sup>®</sup> после небольшого увеличения её поверхностной плотности.

По заключению ООО «НИИОТ в г. Иваново» ткани из 100% огнестойких волокон и хлопка возможно использовать для изготовления:

- специальной одежды, предназначенной для защиты от теплового излучения до 2,0 кВт/м<sup>2</sup> (для изготовления костюмов мужских и женских типов А и Б по ГОСТ 12.4.045-87 и ГОСТ 12.4.044-87);
- специальной одежды, предназначенной для защиты от конвективной теплоты при контакте с нагретыми поверхностями до 100<sup>0</sup>С;
- специальной одежды, предназначенной для защиты от искр, брызг расплавленного металла и окалины;

- средств защиты рук (рукавиц, вачег) для защиты от теплового излучения, и брызг расплавленного металла, окалины.

19. Учитывая, что стоимость разработанных тканей при обеспечении физико-механических, гигиенических и специальных свойств, произведённых из 100% химических огнестойких волокон, выше стоимости тканей, произведённых из смеси натуральных и огнестойких химических волокон с огнезащитной пропиткой, у потребителя есть возможность из серии разработанных тканей осуществить выбор с учётом фактора «цена – качество».

20. Результаты исследований, полученные в изложенной работе, внедрены на ООО «Чайковская текстильная компания», ОАО «Сукно» (г. Минск, Республика Беларусь), использованы при разработке ГОСТ Р 12.4.297-2013 и межгосударственного стандарта ГОСТ 11209-2014 и защищены 9 патентами РФ.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях и журналах, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России*

1. Лаврентьева Е.П. Разработка и освоение пряжи новых структур // Текстильная промышленность.-2003.-№9. – с. 32-34.

2. Лаврентьева Е.П. Новые материалы с комплексом защитных свойств // Текстильная промышленность.- 2006. - №.1-2. - с. 76-77.

3. Лаврентьева Е.П. Термо- и огнезащитные ткани для защитной одежды / Дьяченко В.В., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С.// Текстильная промышленность.-2010. - №5. - с. 54-56.

4. Лаврентьева Е.П. Моделирование влияния структуры материала на скорость его горения./ Разумеев К.Э.// Изв. ВУЗов. Технология лёгкой промышленности -2011. -№4.- с. 49-51.

5. Лаврентьева Е.П. Влияние структурных факторов на скорость горения волокнистого материала / Разумеев К.Э. // Изв. ВУЗов. Технология лёгкой промышленности.-2012. -№2. - с. 81-83.

6. Лаврентьева Е.П. Международная выставка текстильного машиностроения ITMA-2011 / Дьяченко В.В., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С. // Химические волокна.- 2012.-№2.-5 стр.

7. Лаврентьева Е.П. Международная выставка текстильного машиностроения ITMA-2011 / Дьяченко В.В., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С. // Химические волокна.-2012.-№3.-3 стр.

8. Лаврентьева Е.П. Моделирование влияния структуры материала на скорость его горения / Разумеев К.Э. // Швейная промышленность.-2012.-№5.-с. 32-34.

9. Лаврентьева Е.П. Инновационные текстильные огне- и термостойкие материалы для спецодежды и средств индивидуальной защиты // Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники». -2013. - серия 15 - №3,4. - с. 59-67.

10. Лаврентьева Е.П. Инновационные текстильные материалы со специальными свойствами // Швейная промышленность.-2013. -№5. - с. 15-16.

11. Лаврентьева Е.П. Текстильные огне- и термостойкие материалы нового поколения для спецодежды // Химические волокна. -2013. - №2. - с. 47-53.

12. Лаврентьева Е.П. Сравнительный анализ свойств огнезащитных тканей и различных способов их производства // Швейная промышленность.-2014. -№1. - с. 18-20.

13. Лаврентьева Е.П. Инновационные огне- и термозащитные трикотажные полотна и средства индивидуальной защиты / Школа Н.Н. // Химические волокна. - 2015.- №2. - с. 48-52.

14. Лаврентьева Е.П. Химические волокна, применяемые для производства огне- и термозащитной специальной одежды и средств индивидуальной защиты. / Дьяченко В.В. // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2015. - № 4. -с. 19-36.

15. Лаврентьева Е.П. Прогнозирование прочности огнезащитной пряжи. / Дмитриев О.Ю., Щербачков В.П. // Швейная промышленность. - 2015. - №1,2. - с. 50-51.

16. Лаврентьева Е.П. Оптимизация составов смесей при выработке огнезащитной пряжи. / Дмитриев О.Ю., Щербачков В.П. // Швейная промышленность. - 2015. - № 3. - с. 15-16.

17. Lavrent'eva, E. P. International exhibition of textile machinery ITMA-2011 / E. P. Lavrent'eva, V. V. D'yachenko, M. P. Mikahilova, L. S. Koval'chuk // Fibre Chemistry. – 2012. – Vol. 44. – № 2. – P. 135-140.

18. Lavrent'eva, E. P. International exhibition of textile machinery ITMA-2011 / E. P. Lavrent'eva, V. V. D'yachenko, M. P. Mikhailova, L. S. Koval'chuk // Fibre Chemistry. – 2012. – Vol. 44. – № 3. – P. 199-202.

19. Lavrent'eva, E. P. New-generation fire- and heat-resistant textile materials for working clothes / E. P. Lavrent'eva // Fibre Chemistry. – 2013. – Vol. 45. – № 2. – P. 107-113.

20. Lavrent'eva, E. P. Innovative Fire- and Heat-Protective Knit Fabrics and Individual Protective Aids / E. P. Lavrent'eva, N. N. Shkola // Fibre Chemistry. – 2015. – Vol. 47. – № 2. – P. 117-120.

21. Лаврентьева Е.П. Модель остаточного горения образца двумерного плоского текстильного материала. / Разумеев К.Э. // Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности-2016. - №1. Статья принята редакцией к печати.

***Прочие статьи, тезисы докладов и материалы конференций:***

22. Лаврентьева Е.П. Новый ассортимент отечественных тканей для специальной одежды // Директор. -2004. - №2. - с. 22-23.

23. Лаврентьева Е.П. Разработка ассортимента и технологии производства тканей с комплексом защитных свойств из отечественного термостойкого волокна // Рабочая одежда и СИЗ. – 2006. - № 1.

24. Лаврентьева Е.П. Термостойкие и огнестойкие ткани из волокон российского производства для защитной одежды // Ж. «Технический текстиль», № 19, 2009, электронный носитель [www.rustm.net/catalog/article/1700.html](http://www.rustm.net/catalog/article/1700.html) (приоритет от 5 февраля 2010 года).

25. Лаврентьева Е.П. Построение модели остаточного горения образца двухмерного плоского материала / Разумеев К.Э. // Сборник научных трудов ОАО НПК «ЦНИИШерсть»; Одинцово, АНООВПО «ОГИ», 2011, с. 91-97.

26. Лаврентьева Е.П. Комплекс текстильных изделий для защиты от огня и повышенных температур // Сборник материалов XVII Международный научно-практический семинар «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX-2014).- Иваново. - 2014. - с. 145-154.

27. Лаврентьева Е.П. Оптимизация состава смеси при выработке пряжи для огнестойких волокон // Сборник материалов XVII Международный научно-практический семинар «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX-2015). - Иваново. - 2015. - с. 27-35.

28. Лаврентьева Е.П. Инновационные разработки в области спецодежды и технического текстиля // Материалы докладов международной научно-технической конференции. - Витебск. - 25-26 ноября 2015. - с. 61-62.

***Патенты***

1. Патент на изобретение 2286410 РФ, МПК D02G3/04 (2006.01). Текстильная пряжа для выработки защищающих от открытого огня изделий / Лаврентьева Е.П., Орлова Н.П., Дьяченко В.В., Азарова М.Т., Казаков М.Е. – Оpubл. 27.10.2006, Бюл. № 30. 7 с., 2 табл.

2. Патент на полезную модель 74391 РФ, МПК D03D15/12 (2006.01). Ткань с повышенным показателем огнестойкости для защиты человека от высокотемпературных контактов (варианты) / Лаврентьева Е.П., Мальков Л.А., Михайлова М.П., Дьяченко В.В., Ковальчук Л.С., Легчилина Л.М., Азарова М.Т., Казаков М.Е. - Оpubл. 27.06.2008, Бюл. № 18, 7 с., 2 табл.

3. Патент на полезную модель 5584 РБ, МПК D03D15/12 (2006.01). Ткань с повышенным показателем огнестойкости для защиты человека от высокотемпературных контактов (варианты) / Лаврентьева Е.П., Мальков Л.А., Михайлова М.П., Дьяченко В.В., Ковальчук Л.С., Легчилина Л.М., Азарова М.Т., Казаков М.Е. – Оpubл. 30.10.2009. 5 с., 2 табл.

4. Патент на полезную модель 116502 РФ, МПК D03D15/12 (2006.01). Огне- и термостойкая ткань для одежды, защищающей человека от высокотемпературных контактов / Лав-

рентьева Е.П., Дьяченко В.В., Мальков Л.А., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С., Акулова Л.К. - Оpubл. 27.05.2012, Бюл. № 15, 7 с., 3 табл.

5. Патент РФ 118313 на полезную модель, МПК D03D15/12 (2006.01). Ткань с повышенным показателем огнестойкости и термостойкости для защиты человека от высокотемпературных контактов / Лаврентьева Е.П., Дьяченко В.В., Мальков Л.А., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С., Гаврикова Л.И. - Оpubл. 20.07.2012, Бюл. № 20, 7 с., 3 табл.

6. Патент на полезную модель 120970 РФ, МПК D03D15/12 (2006.01). Трикотажное огне-, термостойкое футерованное полотно / Акчурин Р.И., Лаврентьева Е.П., Школа Н.Н., Веселова И.В., Калинина Н.Г., Полуян Л.В., Донскова И.Г., Салобаева В.И. - Оpubл. 10.10.2012. Бюл. № 28, 6 с.

7. Патент на полезную модель 121256 РФ, МПК D03D15/00 (2006.01). Термостойкая огнезащитная ткань / Акчурин Р.И., Ковальчук Л.С., Лаврентьева Е.П., Акулова Л.К. Дьяченко В.В., Михайлова М.П., Мальков Л.А. - Оpubл. 20.10.2012. Бюл. № 29, 7 с., 2 табл.

8. Патент на полезную модель 121257 РФ, МПК D04B1/04 (2006.01). Трикотажное полотно для термобелья / Акчурин Р.И., Лаврентьева Е.П., Школа Н.Н., Хозова Л.М., Калинина Н.Г., Полуян Л.В., Салобаева В.И. Донскова И.Г., Панкратова Г.А. - Оpubл. 20.10.2012. Бюл. № 2, 6 с.

9. Патент на полезную модель 125031 РФ, МПК А41D31/00 (2006.01). Трикотажное огне-, термостойкое полотно для средств индивидуальной защиты / Лаврентьева Е.П., Школа Н.Н., Хозова Л.М., Калинина Н.Г., Полуян Л.В. - Оpubл. 27.02.2013. Бюл. № 6, 5 с.

Подписано в печать

Формат 60x84/16. Бумага множ. Усл. печ. л.2,12 Заказ № Тираж 100 экз.

Типография

119071, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 12

Отпечатано в