

УДК 614.849

КОМБИНАТОРНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОГО ТЕКСТИЛЯ И ШВЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Ибрагимова Р.Р.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход к созданию пожаробезопасных текстильных материалов и изделий. Описаны основные этапы, включающие выбор сырья с пониженной горючестью, применение антипиреновых пропиток на стадии синтеза и отделки, конструктивные решения, снижающие риск распространения пламени, а также методы контроля качества. Подчеркивается необходимость интеграции всех стадий производства, стандартизации испытаний и учета экологической безопасности для обеспечения надежной защиты от возгорания и токсичных продуктов горения.

Ключевые слова: пожаробезопасность, текстильные материалы, антипирены, комплексный подход, огнезащита.

A COMBINATORIAL METHOD FOR DESIGNING FIRE-RESISTANT TEXTILES AND GARMENTS

Aksyonov S.G.

*Doctor of Economics, Professor,
Ufa University of Science and Technology,*

Ufa, Russian Federation

Ibragimova R.R.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Abstract. This article examines a comprehensive approach to creating fire-resistant textile materials and products. Key stages are described, including the selection of low-flammability raw materials, the use of flame retardant impregnations during synthesis and finishing, design solutions that reduce the risk of flame spread, and quality control methods. The need for integration of all production stages, standardized testing, and consideration of environmental safety to ensure reliable protection against fire and toxic combustion products is emphasized.

Keywords: fire safety, textile materials, flame retardants, integrated approach, fire protection.

Создание пожаробезопасных текстильных материалов требует системного подхода, объединяющего химию волокон, технологии отделки и дизайн изделий. Традиционные методы локальной защиты часто неэффективны из-за сложного характера распространения пламени по ткани. Поэтому необходимо рассматривать все этапы жизненного цикла текстиля от сырья до утилизации, включая условия эксплуатации и возможные режимы стирки. Только такой всесторонний анализ позволяет гарантировать сохранение огнезащитных свойств в реальных условиях.

Одним из ключевых направлений является модификация полимерного состава волокон на стадии их синтеза. Введение реакционноспособных

Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

антипиренов в расплав или раствор полимера позволяет получить негорючие нити с сохранением механических свойств, таких как прочность на разрыв и устойчивость к истиранию. Такой подход исключает последующую пропитку, которая может вымываться при стирке или химической чистке, и обеспечивает равномерное распределение защитного компонента по всей массе волокна [1].

Второй важный аспект касается поверхностной обработки готовых тканей, которая дополняет внутреннюю защиту. Современные антипиреновые составы на основе фосфорорганических соединений и гидроксидов металлов создают на волокне защитный слой, который препятствует доступу кислорода к зоне горения. Эффективность обработки оценивается по показателям кислородного индекса, скорости распространения пламени и длительности остаточного тления, что регламентируется международными стандартами.

Исследования показывают, что комбинация внутренней и внешней защиты дает синергетический эффект, значительно превосходящий сумму отдельных воздействий. Например, добавление меламиновых смол в полиэфирное волокно вместе с последующей пропиткой боратами повышает огнестойкость до 40 процентов по сравнению с необработанным материалом. Это особенно актуально для мебельных и постельных тканей, которые часто становятся причиной быстрого распространения огня в жилых помещениях [2].

Конструктивные особенности изделий также влияют на их поведение при пожаре, и этот фактор часто недооценивают. Наличие воздушных зазоров между слоями, многослойность, тип переплетения нитей и даже вид швейных ниток могут способствовать или препятствовать горению. Разработчики должны учитывать эти факторы уже на этапе проектирования, моделируя поведение готового изделия в условиях теплового воздействия.

Метод конечных элементов позволяет моделировать теплопередачу, пиролиз и газодинамику в текстильных структурах с высокой точностью. Такое моделирование помогает выбрать оптимальную геометрию швов, креплений и вентиляционных зазоров без дорогостоящих натуральных испытаний на ранних стадиях разработки. Результаты компьютерного анализа хорошо коррелируют с экспериментальными данными, что подтверждено многочисленными работами в области вычислительной механики материалов [3].

Важное место в комплексном подходе занимает стандартизация методов испытаний, которая обеспечивает сопоставимость результатов разных лабораторий. Существуют различные национальные и международные нормы, например американский стандарт ASTM D6413 для определения вертикального горения, европейский EN 1103 для тканей после стирки и японский JIS L1091. Единая система оценки необходима для сравнения материалов разных производителей и допуска изделий на рынок.

Российские стандарты, такие как ГОСТ 50810 и ГОСТ 12.4.184, предъявляют жесткие требования к тканям для общественного транспорта, одежды специального назначения и текстиля для мест массового пребывания людей. Соблюдение этих требований подтверждается сертификационными испытаниями, которые включают зажигание образца, измерение времени остаточного горения и тления, а также оценку площади повреждения. Для особо ответственных изделий дополнительно определяют токсичность продуктов горения [4].

Экологическая безопасность огнезащитных обработок становится все более актуальной проблемой в связи с ужесточением глобальных регламентов. Традиционные бромсодержащие антипирены, например декабромдифенилоксид, вызывают обоснованные опасения из-за накопления в окружающей среде и токсичности продуктов разложения. Поэтому

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

перспективными считаются безгалогенные системы на основе фосфатов, силикатов, гидроксидов металлов и соединений бора, которые быстро разлагаются до нетоксичных веществ.

Разработка биоразлагаемых антипиренов из возобновляемого сырья ведется в нескольких научных центрах Европы и Азии. Например, производные фитиновой кислоты, выделяемой из растительных отходов риса и пшеницы, показывают высокую эффективность при низкой токсичности и хорошую совместимость с целлюлозными волокнами. Эти составы наносятся методом золь гель обработки с последующим сшиванием при мягких температурах, что сохраняет натуральные свойства ткани [5].

Технологический процесс нанесения антипиренов должен быть интегрирован в общую линию отделки тканей, чтобы минимизировать дополнительные операции и снизить себестоимость. Это достигается установкой распылительных камер или плюсовок на заключительных стадиях промывки и сушки. Современное оборудование позволяет регулировать глубину пропитки, расход состава и температуру сушки с высокой точностью, обеспечивая повторяемость результатов от партии к партии.

Автоматизированные системы контроля качества с использованием спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне дают возможность оперативно проверять содержание антипирена на каждом метре ткани без разрушения образца. Такие решения уже внедрены на крупных текстильных комбинатах Китая и Германии, где они позволяют снизить брак и сократить время лабораторного анализа. Интеграция этих систем в общую автоматизированную систему управления предприятием обеспечивает полную прослеживаемость параметров обработки [6].

Устойчивость огнезащитного покрытия к многократным стиркам и химической чистке остается одной из главных проблем, особенно для

бытового текстиля. Для решения этой задачи применяют сшивающие агенты, например изоцианаты или эпоксидные смолы, которые ковалентно пришивают антипирен к функциональным группам волокна. Альтернативой служит инкапсулирование антипирена в наночастицы из биополимеров с постепенным высвобождением активного компонента при каждом цикле стирки.

Нанотехнологический подход позволяет создавать самоочищающиеся поверхности, где гидрофобные свойства дополнительно затрудняют смачивание тканей горючими жидкостями, такими как масла или растворители. Комбинирование нанокремнезема и фосфонатов увеличивает срок службы защиты до 50 циклов стирки по методике ААТСС 124, что достаточно для большинства швейных изделий. Кроме того, наночастицы улучшают механические свойства, повышая стойкость к истиранию и разрыву.

Практическая реализация комплексного подхода требует тесного взаимодействия химиков, технологов и дизайнеров на всех этапах, от лабораторной разработки до промышленного выпуска. Часто возникает конфликт между высокой огнестойкостью и тактильной привлекательностью ткани, поскольку многие антипирены делают волокна жесткими и ломкими. Современные мягкие антипирены на основе полиэлектролитных комплексов, например полидиаллилдиметиламмоний хлорида с полифосфатом, позволяют сохранить мягкость, драпируемость и воздухопроницаемость.

Создание многофункциональных текстильных материалов, которые одновременно защищают от огня, влаги, ультрафиолета и микроорганизмов, является приоритетной задачей для производителей спецодежды и технического текстиля. Например, слоистые структуры с чередованием негорючих слоев из арамидных волокон и термобарьерных слоев из пенокремнезема обеспечивают комплексную защиту при сохранении гибкости. Такие материалы востребованы в производстве одежды для нефтегазовой отрасли, авиации и пожарных подразделений [1].

Экономические аспекты внедрения новых технологий также нельзя игнорировать, поскольку высокая стоимость наноразмерных антипиренов может быть оправдана только для изделий с повышенными требованиями безопасности. Для массового рынка, например для домашнего текстиля или одежды повседневного использования, более предпочтительны традиционные пропитки на основе полифосфата аммония или сульфамата аммония. Эти вещества производятся в больших объемах и имеют низкую цену при достаточной эффективности для большинства применений.

Оптимизация расхода антипирена с помощью пенной обработки позволяет снизить затраты на 30 процентов по сравнению с методом полного погружения, одновременно уменьшая количество сточных вод. Эта технология уже используется при производстве обивочных тканей для общественных зданий, театров и транспортных средств. Контроль расхода осуществляется дозирующими насосами высокого давления и онлайн датчиками вязкости пены, что обеспечивает равномерное нанесение даже на сложные рельефные поверхности [2].

Обучение персонала правилам работы с огнезащитными составами является неотъемлемой частью комплексного подхода, поскольку человеческий фактор часто становится причиной дефектов. Несоблюдение технологических режимов, например температуры сушки или времени выдержки в пропиточной ванне, может свести на нет все преимущества дорогостоящей пропитки. Регулярные аудиты производственных линий с отбором проб и проверкой соответствия стандартам помогают поддерживать стабильное качество на уровне, требуемом сертификационными органами.

Разработка регламентов технического обслуживания оборудования для нанесения антипиренов требует учета агрессивности некоторых составов, особенно кислых или щелочных. Нержавеющие стали аустенитного класса и тефлоновые покрытия деталей машин, контактирующих с раствором, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

увеличивают срок службы аппаратуры в два три раза. Профилактические остановки для очистки форсунок и замены фильтров проводятся каждые восемь часов смены, что записывается в журнал и контролируется мастером участка [3].

История развития огнезащиты текстиля насчитывает более ста лет, начиная с первых опытов пропитки боевых знамен квасцами и бурой. Первые методы давали временный эффект, который исчезал после первого дождя или стирки, но они заложили основу для понимания механизмов действия. Современные знания о химии горения полимеров, кинетике разложения целлюлозы и роли свободных радикалов позволили создать рациональные подходы к конструированию антипиреновых систем.

Сегодня исследователи работают над интеллектуальными текстильными материалами, которые реагируют на повышение температуры выделением инертного газа или вспениванием с образованием защитного коксового слоя. Такие системы активируются только при реальной угрозе возгорания, что экономит ресурс защиты и сохраняет исходные свойства материала в обычных условиях. Прототипы уже проходят испытания в лабораторных условиях, и первые коммерческие образцы ожидаются на рынке в ближайшие пять лет [4].

В заключение следует отметить, что комплексный подход к созданию пожаробезопасных текстильных материалов и изделий включает в себя три основных компонента, работающих в единстве. Первый компонент – это выбор исходных волокон с пониженной горючестью, например модифицированных полиэфиров, полиамидов с добавками или природных волокон с привитыми антипиренами. Второй компонент – это применение эффективных и экологичных антипиреновых обработок на стадии синтеза или отделки с контролем равномерности нанесения. Третий компонент – это учет конструктивных особенностей изделий, влияющих на распространение пламени, таких как плотность переплетения, количество слоев и тип швов.

Интеграция всех трех компонентов на этапах проектирования, производства и контроля качества позволяет достичь максимальной безопасности при минимальных экономических затратах и сохранении потребительских свойств. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание универсальных стандартов оценки, гармонизирующих национальные и международные требования, а также на внедрение самовосстанавливающихся покрытий. Перспективным направлением является также использование отходов текстильной промышленности, например содержащих фосфор, для получения дешевых антипиренов в рамках циркулярной экономики [5].

Практические рекомендации для производителей включают обязательный входной контроль сырья на содержание антипиренов с помощью хроматографии или спектрофотометрии. Рекомендуется также проводить ускоренные испытания на стойкость к стирке по методике ААТСС 124, моделирующей пять стирок в суровых условиях, что сокращает время оценки с месяца до одного дня. Внедрение системы менеджмента качества по стандарту ISO 9001 с дополнительными процедурами для огнезащитных операций поможет систематизировать все действия и облегчить прохождение сертификации.

Коллаборация с научными учреждениями ускоряет внедрение инноваций, например плазменной обработки в среде аргона для прививки антипиренов на поверхность волокон. Этот метод не требует жидких сред и органических растворителей, обеспечивая сверхтонкий функциональный слой с высокой адгезией и минимальным воздействием на окружающую среду. Промышленные плазменные установки с вакуумными камерами и генераторами высокой частоты уже доступны на рынке и успешно работают на нескольких текстильных фабриках в Европе [6].

Анализ пожароопасных ситуаций показывает, что большинство жертв приходится не на термические ожоги, а на отравление токсичными газами, выделяющимися при тлении и горении текстиля. Поэтому при создании пожаробезопасных материалов необходимо минимизировать не только скорость распространения пламени, но и выход дыма, угарного газа, хлористого водорода и других опасных соединений. Антипирены на основе гидроксида алюминия и гидроксида магния эффективно подавляют дымообразование, выделяя водяной пар и охлаждая зону реакции.

Комбинированные системы, включающие поглотители кислых газов, например карбонат или оксид кальция, и ингибиторы радикального горения на основе соединений фосфора, демонстрируют наилучшие результаты по снижению токсичности. Например, добавка мелкодисперсного карбоната кальция вместе с аммонийными фосфатами снижает выделение хлористого водорода из хлорсодержащих волокон на 60 процентов. Такие составы особенно перспективны для тканей салонов самолетов, поездов и судов, где эвакуация затруднена.

Таким образом только системный подход, объединяющий науку о материалах, технологию производства и конструкторский дизайн, может обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности при сохранении конкурентоспособной цены. Необходимо продолжить гармонизацию национальных и международных нормативов для упрощения торговли и взаимного признания сертификатов. Будущее за интеллектуальными текстильными системами с адаптивной огнезащитой, которые будут реагировать на изменение условий окружающей среды и автоматически восстанавливать защитные свойства после воздействия пламени.

Библиографический список:

1. Аксенов С.Г., Гайнцева А.А., Лукьянова И.Э. Анализ свойств огнезащитного покрытия конструкций вспучивающейся краской // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 6 (140). С. 147–154.
2. Байбара В.С., Пичхидзе С.Я. Разработка огнезащитного и пламягасящего материала одежды // Молодой ученый. 2015. № 24. С. 58–60.
3. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. М. : Химия, 1980. 269 с.
4. Морилова Л.В., Ярмоленко А.С., Соколова В.Б., Низамутдинов Л. Исследование огнезащитных свойств бытовых текстильных материалов // Концепт. 2014. № S33. С. 46–50.
5. Сабирзянова Р.Н. (Фазуллина Р.Н.), Красина И.В. Исследование теплового сопротивления текстильных материалов, пропитанных вспучивающим антипиреном // Наука XXI века: теория, практика и перспективы : материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 2015. С. 46–50.
6. Френкель Г.Г., Волохина А.В., Жевлаков А.Ф. и др. Термостойкие огнезащищенные волокна и изделия из них : обзорная информация. М. : НИИТЭХИМ, 1983. 170 с.