УДК 614.841.411:66.018.4
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_357

РАЗРАБОТКА ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕКСТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ

DEVELOPMENT OF FIREPROOF COMPOSITE MATERIALS ON TEXTILE BASIS

С.Н. УЛЬЕВА, И.А. ЛЕГКОВА, А.Л. НИКИФОРОВ, В.А. ТИТОВ, М.А. КОЛБАШОВ

S.N. ULYEVA, I.A. LEGKOVA, A.L. NIKIFOROV, V.A. TITOV, M.A. KOLBASHOV

(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia)

E-mail: jivotjagina@mail.ru, legkovai@mail.ru, anikiforoff@list.ru

В статье приведен анализ использования специальной защитной одежды для работников горячих цехов, газоэлектросварщиков, пожарных и др. Показаны недостатки существующих образцов спецодежды. Предложена альтернатива выбора материалов на текстильной основе, способных защитить человека от ожогового травматизма. Приведен критический анализ работ, посвященных исследованиям возможности использования вспучивающихся составов для защиты тканей от негативного воздействия открытого пламени и высоких температур. Отмечено, что авторы работ при создании таких огнезащитных композиций ориентируются на известные составы, предназначенные для обработки металлических строительных конструкций, что некорректно использовать применительно к защите волокнистых материалов. В связи с этим нами предложен научно обоснованный подход к разработке композиционных материалов, состоящих из текстильной основы с полимерным интумесцентным покрытием. Обозначены проблемные вопросы, которые необходимо решить для разработки технологии серийного выпуска текстильных материалов с вспучивающимися огнезащитными покрытиями, предназначенных для изготовления специальной защитной одежды персонала горячих цехов, газоэлектросварщиков и пожарных.

The article provides an analysis of the use of special protective clothing for workers in hot shops, gas and electric welders, firefighters, etc. The shortcomings of existing samples of special clothing are shown. An alternative to choosing textile-based materials that can protect a person from burn injuries is proposed. A critical analysis of studies investigating the use of intumescent compounds to protect fabrics from

the negative effects of open flames and high temperatures is provided. It is noted that, when developing such fire-retardant composites, the authors rely on known compounds designed for treating metal building structures, which is inappropriate for protecting fibrous materials. In this regard, we have proposed a scientifically based approach to the development of composite materials consisting of a textile base with a polymer intumescent coating. The problematic issues that need to be resolved in order to develop a technology for the serial production of textile materials with intumescent fire-protective coatings intended for use in the manufacture of special protective clothing for hot shop personnel, gas welders and firefighters are identified.

Ключевые слова: специальная одежда, огнезащита, текстильный материал, интумесцентное покрытие, композиция, полимер.

Keywords: special clothing, fire protection, textile material, intumescent coating, composition, polymer.

Защита человека от производственного травматизма является актуальной задачей, которой уделяется постоянное и пристальное внимание со стороны органов, занимающихся вопросами охраны труда и управления предприятий. Один из ключевых моментов данного процесса заключается в обеспечении персонала производственных предприятий, работников структур и подразделений, выполняющих специфические задачи, специальной одеждой, предназначенной именно для защиты человека от опасных факторов, имеющихся постоянно, или тех, которые могут возникнуть при непосредственном выполнении производственных задач [1].

Многочисленные интернет-источники определяют защитную одежду как средство индивидуальной защиты, предназначенное для предотвращения или минимизации воздействия вредных производственных факторов на организм работника.

Вопросам, связанным с требованиями к специальной защитной одежде, посвящен ряд нормативных документов – ГОСТ 12.4.280-2014, ГОСТ 12.4.250-2019, ГОСТ 12.4.103-2020, ГОСТ Р 12.4.297-2013.

При использовании спецодежды особое внимание должно уделяться такой функции, как защита человека от неблагоприятных производственных условий и различных видов травматизма. В большинстве случаев, таких, например, как защита от пыли и грязи, защита от опасных химических сред, данное требование выполняется в полном объеме. Однако серьезные вопросы возникают к специальной защитной одежде для работников горячих цехов, электрогазосварщиков, пожарных и т. д. В данном случае, на наш взгляд, основной задачей использования спецодежды является обеспечение защиты пользователя от ожогового травматизма. Главным функциям должного внимания практически не уделяется. Это подтверждается как нормативными документами (ГОСТ 12.4.250-2019, ГОСТ Р 12.4.297-2013), где приоритет отдается вопросам использования при изготовлении специальной одежды негорючих текстильных материалов и практически не рассматриваются вопросы обеспечения защиты рабочего персонала от внешних высокотемпературных воздействий, так и информацией, размещенной на сайтах производителей рабочей одежды. Здесь приводятся требования к материалам спецодежды и ничего не говорится о том, как это способствует защите человека от ожогового травматизма.

Следует также отметить отсутствие в открытой печати научных публикаций, посвященных разработке материалов, способных защитить человека от ожогового травматизма, обусловленного внешними негативными факторами (открытое пламя, капли расплавленного металла, тепловые конвек-

тивные потоки, инфракрасное (ИК) излучение, горящие термопластичные полимеры, нефтепродукты, легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ)).

Таким образом, разработка новых веществ и материалов, свойства которых определяются и задаются реальными потребителями, является актуальной задачей, приоритетной для химической и легкой отраслей промышленности.

Цель настоящей работы заключалась в разработке научно обоснованного подхода к созданию материалов для специальной одежды, способной обеспечить защиту человека от ожогового травматизма.

Анализ размещенной в открытой печати информации о текстильных материалах и изделиях на их основе, пригодных для использования при производстве спецодежды, показал, что основная масса работ касается придания текстильным материалам свойств негорючести [2…4]. Несмотря на то, что на настоящий момент разработано, внедрено и активно применяется огромное количество огнезащитных препаратов для тканей различного волокнистого состава, работы в данном направлении ведутся. Это обусловлено тем, что в нормативных документах, касающихся производства и эксплуатации спецодежды, среди основных требований к текстильным материалам выдвигается требование негорючести (ГОСТ 12.4.250-2019, ГОСТ Р 12.4.297-2013). В связи с этим и производители тканей ориентируются на выпуск материалов, прошедших огнезащитную обработку, т. е. негорючих и не распространяющих пламя по поверхности тканей.

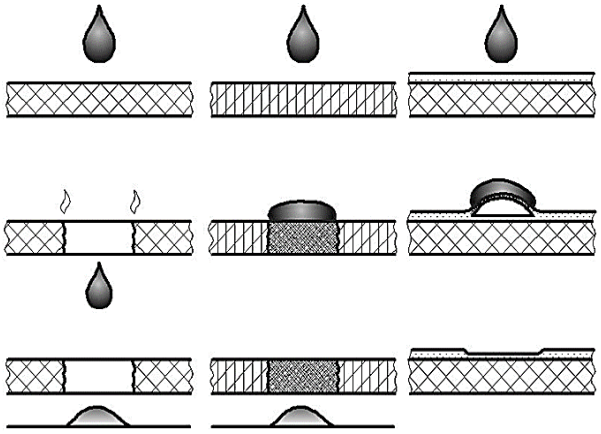
Работа традиционных огнезащитных составов сводится к заполнению пор в волокнообразующем материале негорючими химическими соединениями. При этом волокнообразующий полимер не образует химического соединения с антипиреном, т. е. его физико-химические свойства остаются неизменными. Упрощенно механизм огнезащиты можно объяснить тем, что антипирен блокирует контакт горючего вещества (например, целлюлозы) с окислителем – кислородом воздуха. Таким образом, термоокислительная деструкция (пламенное горение и тление) материала становится невозможной [5…9]. Однако при внешнем термическом воздействии волокнистый материал будет разрушаться вследствие протекания процесса термодеструкции, сопровождаемого потерей прочности и целостности ткани.

Такие огнезащитные обработки ухудшают теплоизолирующие свойства текстильных материалов (возрастает общая теплопроводность), что в конечном счете не способствует сдерживанию теплового потока в материале, возникающего при ИК-облучении, контактном и конвективном нагреве. Таким образом, можно констатировать следующее: обработанные огнезащитными составами целлюлозосодержащие и шерстяные ткани при внешнем высокотемпературном воздействии разрушаются и не способны обеспечить защиту от ожогового травматизма. Применение трудногорючих и негорючих тканей из кевлара и арамидных волокон [10, 11] обеспечивает целостность изделия при воздействии высоких температур, но актуальным остается вопрос сдерживания тепловых потоков. В связи с последним замечанием разработчики спецодежды вынуждены вводить в ее состав дополнительные элементы в виде подстежек из войлока, ватина и других материалов, призванных защитить человека от нежелательных термических воздействий [12]. Использование таких многослойных материалов имеет негативный фактор – ухудшение комфортности специальной одежды [13].

В связи с этим резонно возникает вопрос о наличии альтернативных комплексных подходов к разработке новых материалов для специальной одежды, сочетающих в себе свойства негорючести и защиты человека от тепловых потоков. При этом такой материал должен быть легким, прочным и иметь небольшую толщину, чтобы обеспечить комфортность и удобство пользования готовым изделием.

На наш взгляд, в этом отношении наилучшие перспективы имеют композиционные материалы, по структуре близкие к искусственным полимерным кожам, в которых текстильный материал служит осно-

вой, на его лицевую поверхность нанесен полимерный состав, обладающий интумесцентными свойствами [14]. Суть отличия огнезащитного действия такого материала от ткани, обработанной антипирирующим составом, представлена на рис. 1.



а) б) в)

Рис. 1

На рис. 1 показано, как ведет себя брезентовая ткань в исходном виде (а), обработанная огнезащитным составом (б) и с нанесенным на поверхность интумесцентным покрытием (в) при контакте с расплавленным металлом. Для проведения эксперимента в качестве текстильной основы нами был выбран брезент, артикул 11135 (исходный) и артикул 11135 ОП (с огнезащитной пропиткой), а также исходный брезент с нанесенным на поверхность интумесцентным составом, толщина слоя которого составляла 1 ± 0,2 мм. В работе был использован интумесцентный состав собственной разработки на основе поливинилацетатной (ПВА) эмульсии. Для имитации капель металла использовали свинец марки СМ (свинец меднистый) с температурой плавления $T_{пл}$=328°С и температурой литья $T_{л}$= 450°С. Выбор свинца обусловлен низкой температурой плавления, которая тем не менее превышала температуру термодеструкции целлюлозного материала (300…390 °С) [15]. Капля расплавленного металла объемом порядка 0,5 см^3 и весом 5 ± 0,5 г наносилась на поверхность горизонтально расположенного образца ткани 10×15 см, натянутой на рамку с клупами. Наблюдалось воспламенение и сквозное прогорание исходного образца (рис. 1, а) ткани в месте контакта с расплавленной каплей металла. На огнезащищенном образце брезента (рис. 1, б) происходило разрушение структуры ткани с образованием сквозного прогара в течение 48 ± 5 секунд, сопровождающееся большим выделением дыма. Видимого горения и тления не наблюдалось. При нанесении капли расплавленного металла на брезент с интумесцентным покрытием (рис. 1, в) в месте контакта происходило вспучивание защитного слоя с образованием пузыря с карбонизованной стенкой. Отмечено, что после остывания и удаления угольного остатка с поверхности ткани текстильная основа осталась целой и не поврежденной; защитное покрытие также присутствовало, т. е. защитный интумесцентный слой до конца разрушен не был и мог быть использован повторно. Высота образовавшегося коксового пузыря составляла 12 ± 2 мм. Зафиксированная максимальная температура на изнаночной стороне ткани непосредственно под каплей металла составила 52 ± 7°С, что позволяет говорить о вполне приемлемой защите от ожогового травматизма.

Следует отметить, что в последнее время в открытой печати появилось некоторое количество публикаций, посвященных разработке вспучивающихся материалов для защиты текстильной продукции. Так, авторами из Казани [16…20] проведено большое и серьезное исследование, направленное на разработку вспучивающихся огнезащитных составов для защиты текстильных изделий. В качестве замечания по данной работе стоит отметить то, что авторы не уделили внимания анализу соответствия температур «срабатывания» огнезащитного состава и деструкции защищаемого материала. При создании интумесцентной композиции авторы также не проводили подбора компонентов между собой по термическим характеристикам, что, скорее всего, должно негативно отразиться на эффективности защиты. Объяснить это можно тем, что авторы руководствовались имеющимися публикациями по интумесцентным составам для защиты металлических конструкций [21].

Использование компонентов вспучивающихся составов, предназначенных для защиты металлов, применительно к текстильным материалам некорректно.

Аналогичные замечания можно сделать и для работ [22, 23]. Существенным недостатком предлагаемой авторами огнезащитной композиции является введение в ее состав шунгита, что негативно сказывается на способности пленочного покрытия отражать ИК-излучение. Технологический процесс желирования ПВХ-пластизоля предусматривает термическую обработку при температуре 220°С в течение 2 минут. Снижение температуры отверждения полимера, как предлагают авторы, до 145…150°С в течение 4…5 минут на стадии формирования покрытия не обеспечивает полноты протекания процесса превращения пластизоля в пластикат, что отрицательно сказывается на прочностных характеристиках готовых пленок [24]. Также из описания к патенту непонятно, что в предлагаемом составе выполняет роль вспучивающего агента и как, собственно, работает такой состав. Вспучивание возможно только при закипании полимера, но это не является интумесценцией в понимании такого вида огнезащиты. При высокотемпературном воздействии на такой материал не должно происходить образования вспученного слоя необходимой высоты, что негативно сказывается на эффективности сдерживания теплового потока. В результате нагрева и плавления ПВХ в данном случае появляется дополнительная опасность – вероятность воспламенения пленочного покрытия с образованием горящих капель.

Таким образом, можно сделать вывод: подбор компонентов интумесцентных составов для защиты текстильных материалов, предназначенных для изготовления специальной одежды, требует взвешенного, научно обоснованного подхода. При этом следует помнить, что каждый защищаемый материал индивидуален по своим свойствам. Как показано в [25], полностью универсальных вспенивающихся систем антипиренов со строго определенным соотношением компонентов не существует, и все композиции разрабатываются эмпирически, поэтому при разработке вспучивающейся краски всегда встает задача обоснованного и оптимизированного подхода к выбору компонентов.

При решении этой проблемы нами были выделены три основных пункта, которые направлены на выработку практических рекомендаций по разработке интумесцентных составов для тканей различного волокнистого состава:

- определение температуры деструкции ($Т_з$) защищаемого текстильного материала;

- выбор основных компонентов интумесцентного состава (полимерного материала и вспучивающего агента). Выбор основан на сравнении температур размягчения (плавления) полимера ($Т_п$), термодеструкции вспучивающего агента ($Т_в$) и ($Т_з$). Должно соблюдаться соотношение:

$$(Т_п = Т_в) < Т_з. \qquad (1)$$

Суть приведенного выражения заключается в том, что интумесцентный состав должен сработать, пока температура внешнего воздействия не достигла температуры термодеструкции защищаемого текстильного материала. При этом температуры плавления полимера и термодеструкции вспучивающего агента должны быть максимально близки между собой. В случае, когда термодеструкция вспучивающего агента происходит раньше размягчения или плавления полимерной пленки, надувания пузыря не происходит, образующиеся газы разрушают целостность пленки, интумесцентный эффект не достигается. Аналогичная по эффекту картина наблюдается, когда плавление полимера происходит при более низкой температуре, нежели термодеструкция вспучивающего агента. Образованный на поверхности полимерной пленки жесткий коксовый слой будет разрушаться выделяющимися при разложении при более высокой температуре вспучивающего агента газами. Поэтому указанное соотношение (1) можно принять за оптимальное;

- выбор вспомогательных компонентов интумесцентного состава.

Для проверки выдвинутой идеи нами проведена серия установочных экспери-

ментов по созданию простейшего вспучивающегося состава для брезента арт. 11135. Состав защитной композиции включал в себя поливинилацетатную дисперсию (ПВА) марки ДФ 51/15В, температура плавления которой лежит в пределах 190…200°С, а деструкция протекает в диапазоне температур 200…215 °С. Выбор дисперсии данной марки был обусловлен набором ее эксплуатационных характеристик: высокое содержание основного полимера, повышенная адгезия к целлюлозе, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и влаге, приемлемая эластичность при пониженных температурах и др. В качестве вспучивающего агента выбран танин. Данное соединение не плавится, а обугливается, выделяя пирогаллол и углекислый газ при температуре 210…215 °С. В качестве вспомогательных веществ использованы оксид титана (защита от ИК-излучения), дипентаэритрит (скелетообразователь пенококса). В процессе изготовления все компоненты смешивались и перетирались в лабораторной шаровой мельнице (рис. 2) агатовыми шариками в течение 30 минут.

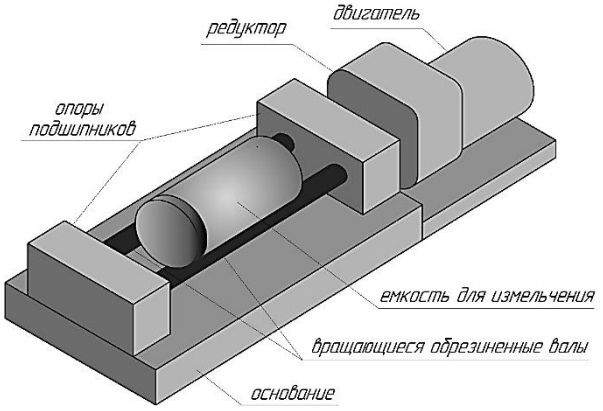


Рис. 2

Таким образом, разработанный нами на основе научного подхода вспучивающийся состав показал свою работоспособность.

Следует отметить, что интумесцентные огнезащитные покрытия на ткани должны наноситься из вязких жидких сред по технологии, аналогичной получению искусственных кож. Отверждение нанесенных составов должно происходить при нор-мальных условиях (допускается для ускорения процесса повышение температуры до 60…80 °С). Последнее условие может создавать трудности при реализации массового процесса выпуска тканей, поэтому данный вопрос находится в настоящее время в проработке. Рассматривается использование экстендеров для сокращения времени протекания процессов пленкообразования. Еще одна практическая задача заключается в выявлении зависимости эффективности интумесцентных покрытий от дисперсности вспучивающего агента.

Таким образом, по работе можно сделать следующие выводы:

- наиболее надежным видом защиты от ожогового травматизма работников горячих цехов, газоэлектросварщиков, пожарных и др. является специальная одежда, изготовленная из композиционных материалов, выполненных на основе текстильных материалов с нанесенными на поверхность вспучивающимися огнезащитными составами;

- разработка интумесцентных огнезащитных составов должна осуществляться на основе сравнительного анализа термических характеристик компонентов, входящих в них, и температуры деструкции защищаемого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лебедева И.В., Ревякина О.В.* Проблемы и тенденции производства специальной одежды в России // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 2-1. С. 92…95.

2. *Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е.* Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 121…133.

3. *Коломейцева Э.А., Смирнов Г.А., Морыганов А.П.* Инновационный технический текстиль военного и гражданского назначения с исполь-зованием огнезащитных препаратов Термотекс // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 133…138.

4. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 8. С. 75…79.

5. *Ульева С.Н., Никифоров А.Л., Румянцева В.Е. и др.* Защита целлюлозных материалов от воздействия высоких температур и открытого пламени //

Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2. С. 207…212.

6. *Спиридонова В.Г., Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Циркина О.Г.* Обоснование актуальных подходов к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов и способов огнезащиты тканей различного функционального назначения // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 125…132.

7. *Сырбу С.А., Циркина О.Г., Салихова А.Х. и др.* Проблемные вопросы придания текстильным материалам специальных защитных свойств // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. №2 (47). С. 133…140.

8. *Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Ульева С.Н. и др.* Особенности тепломассообменных процессов в ходе эксплуатации боевой одежды пожарного // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3. С. 168…172.

9. *Константинова Н.И., Еремина Т.Ю., Николаева Е.А., Альменбаев М.М.* Особенности выбора огнезащитных составов для текстильных материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27, №9. С. 17…25.

10. *Дориомедов М.С.* Рынок арамидного волокна: виды, свойства, применение // Труды ВИАМ. 2020. № 11(93). С. 48…59.

11. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Ассортимент и область применения огнестойких текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 22. С. 101…105.

12. *Таласпаева А.А., Жилисбаева Р.О.* К вопросу о разработке пакета материалов для проектирования спецодежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 3(357). С. 112…115.

13. *Довыденкова В.П., Ольшанский В.И., Дмитракович Н.М.* Технологическое обеспечение процесса изготовления специальной защитной одежды из огнетермостойких материалов // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2015. № 1(28). С. 50…60.

14. *Николаенко Г.Р., Кулевцов Г.Н., Степин С.Н.* Применение полиуретановых дисперсий в отделочных процессах кожевенной промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, №22. С. 89…94.

15. nanohetcat.ips.ac.ru.

16. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 8. С. 75…79.

17. *Фазуллина Р.Н., Красина И.В., Илюшина С.В., Минязова А.Н.* Исследование теплопроводности текстильных материалов, пропитанных вспучивающимся антипиреном, методом дифференциально-термического анализа // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 7. С. 86…88.

18. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Исследование влияния составляющих компонентов вспучивающего антипирена на огнестойкие свойства материалов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 283…287.

19. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Применение вспучивающего антипирена для придания материалам огнестойкости // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17, № 19. С. 140…142.

20. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Процесс получения вспучивающегося антипирена для пропитки текстильных материалов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, №11. С. 135…136.

21. *Истомина Т.С., Тиунова Т.Г., Ощепкова Т.Е., Астафьева С.А.* Интумесцентные материалы для тепловой защиты конструкций, функционирующих в экстремальных условиях // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2017. № 4. С. 8…14.

22. Пат. 2836432C1 РФ. Интумесцентный огнезащитный состав для тканей из целлюлозных волокон.

23. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г.* Защитные вспучивающиеся составы для тканей технического назначения // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2023. С. 483…487.

24. *Никифоров А.Л.* Теория и практика отделки текстильных материалов и полимерных пленок в поле токов высокой частоты: автореф. дис. … канд. техн. наук. Иваново, 1989. 17 с.

25. https://www.lkmportal.com/

R E F E R E N C E S

1. *Lebedeva I.V., Revyakina O.V.* Problems and trends in the production of special clothing in Russia // Actual problems of the humanities and natural sciences. 2015. № 2-1. P. 92...95.

2. *Kiselev A.M., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E.* Modern technologies for obtaining textile materials with special properties and their fields of application // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2 (398). P. 121...133.

3. *Kolomeytseva E.A., Smirnov G.A., Moryganov A.P.* Innovative technical textiles for military and civilian purposes using thermotex flame retardants // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 3 (405). P. 133...138.

4. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Modern trends in the production of fire-resistant textile materials // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, № 8. P. 75…79.

5. *Ulieva S.N., Nikiforov A.L., Rumyantseva V.E. etc.* Protection of cellulose materials from exposure to high temperatures and open flames // Izvestiya Vysshikh

Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 2. P. 207…212.

6. *Spiridonova V.G., Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Tsirkina O.G.* Substantiation of current approaches to assessing the fire-hazardous properties of textile materials and methods of fire protection of fabrics of various functional purposes // Modern problems of civil protection. 2023. №2 (47). P. 125…132.

7. *Syrbu S.A., Tsirkina O.G., Salikhova A.Kh. etc.* Problematic Issues of Giving Special Protective Properties to Textile Materials // Modern Problems of Civil Protection. 2023. № 2 (47). P. 133…140.

8. *Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Uleva S.N. etc.* Features of heat and mass-exchange processes in the operation of the fire fighting clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. №3. P. 168…172.

9. *Konstantinova N.I., Eremina T.Yu., Nikolaeva E.A., Almenbaev M.M.* Features of the choice of flame retardants for textile materials // Fire and explosion safety. 2018. Vol. 27, № 9. P. 17…25.

10. *Doriomedov M.S.* Aramid fiber market: types, properties, applications // Proceedings of VIAM. 2020. № 11 (93). P. 48 ... 59.

11. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Range and scope of application of fire-resistant textile materials // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. Vol. 17, № 22. P. 101…105.

12. *Talaspayeva A.A., Zhilisbaeva R.O.* The issue of the development of material package for protective cloth designing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. № 3 (357). P. 112...115.

13. *Dovydenkova V.P., Olshansky V.I., Dmitrakovich N.M.* Technological support of the manufacturing process of special protective clothing from fire-resistant materials // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2015. № 1 (28). P. 50...60.

14. *Nikolaenko G.R., Kulevtsov G.N., Stepin S.N.* Application of polyurethane dispersions in finishing processes of the leather industry // Bulletin of the Kazan Technological University. 2012, Vol. 15. № 22. P. 89…94.

15. nanohetcat.ips.ac.ru.

16. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Modern trends in the production of fire-resistant textile materials // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, № 8. P. 75…79.

17. *Fazullina R.N., Krasina I.V., Ilyushina S.V., Minyazova A.N.* Study of thermal conductivity of textile materials impregnated with intumescent fire retardant by differential thermal analysis // Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19, № 7. P. 86…88.

18. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Study of the influence of the constituent components of the intumescent fire retardant on the fire-resistant properties of materials // Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18, № 2. P. 283…287.

19. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* The use of a swelling flame retardant to make materials fire resistant // Bulletin of the Technological University. 2014. Vol. 17. №19, P. 140…142.

20. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* The process of obtaining a swelling flame retardant for impregnation of textile materials // Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18, №11. P. 135…136.

21. *Istomina T.S., Tiunova T.G., Oshchepkova T.E., Astafieva S.A.* Intumescent materials for thermal protection of structures operating in extreme conditions // Bulletin of the Perm Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2017. № 4. P. 8…14.

22. Pat. 2836432C1 RF. Intumescent fire-retardant composition for fabrics made of cellulose fibers.

23. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G.* Protective swelling compounds for technical fabrics // Topical issues of improving engineering systems for ensuring fire safety of facilities. Ivanovo: IPSA of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023. P. 483…487.

24. *Nikiforov A.L.* Theory and practice of finishing textile materials and polymer films in the field of high-frequency currents: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Ivanovo, 1989. 17 p.

25. https://www.lkmportal.com/

Рекомендована кафедрой государственного надзора и экспертизы пожаров (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 07.07.25.