

УДК 614.841.41

## **ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: НАУЧНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ**

**А. Н. КЛУШИН, О. Г. ЦИРКИНА, В. Г. СПИРИДОНОВА, И. В. ПЕСТОВ**

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru, pestov.ig@yandex.ru

В статье представлен научный анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области пожарной опасности текстиля. Отмечено, что в нашей стране и за рубежом исследователи придерживаются практически одинакового подхода к изучению пожарной опасности текстильных материалов. Рассмотрены особенности состава и структуры текстильных полотен, а также факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость тканей из различных видов волокон. Отмечена взаимосвязь скорости тепловыделения из различных волокнистых материалов с их способностью к воспламенению. Анализ литературных данных показал, что между основными показателями, характеризующими пожарную опасность текстильных материалов, имеется высокая степень корреляции внутри групп тканей одинаковой природы и химического состава.

**Ключевые слова:** текстиль, волокнистые материалы, пожарная опасность, горючесть, термическая стабильность, огнестойкость

## **THERMAL STABILITY AND FIRE RESISTANCE OF FIBROUS MATERIALS: SCIENTIFIC ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN RESEARCH EXPERIENCE**

**A. N. KLUSHIN, O. G. TSIRKINA, V. G. SPIRIDONOVA, I. V. PESTOV**

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education  
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation  
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru, pestov.ig@yandex.ru

The article presents a scientific analysis of domestic and foreign research experience in the field of textile fire hazard. It is noted that in our country and abroad, researchers adhere to almost the same approach to studying the fire hazard of textile materials. The features of the composition and structure of textile fabrics, as well as factors affecting the thermal stability and fire resistance of fabrics made of various types of fibers, are considered. The relationship between the rate of heat release from various fibrous materials and their ability to ignite is noted. An analysis of the literature data has shown that there is a high degree of correlation between the main indicators characterizing the fire hazard of textile materials within groups of fabrics of the same nature and chemical composition.

**Keywords:** textiles, fibrous materials, fire hazard, flammability, thermal stability, fire resistance

Текстильные материалы (ТМ), выработанные из различных видов волокон и их смесей, широко применяются во всех сферах жизнедеятельности человека, начиная от тканей бытового назначения и заканчивая высокотехнологичными защитными материалами, используемыми в промышленности. Наряду с многочисленными достоинствами, большинство ТМ горючи и, следовательно, обладают повышенной пожарной опасностью. Поэтому разработка огнезащитных составов и выпуск термически стабильных текстильных материалов и

изделий, обладающих пониженной горючестью, являются актуальными в масштабах нашей страны и во всем мире, а обеспечение пожарной безопасности представляет важную государственную задачу [1].

На мировом рынке значительно возросла доля огнестойких тканей, предназначенных для пошива изделий бытового, специального технического назначения [2]. Необходимо отметить, что на смену традиционному текстилю пришли новые инновационные материалы, в первую очередь, ТМ на основе

aramидных волокон, стоимость которых и сейчас остается высокой. Поэтому исследования, имеющие цель создать пожаробезопасные ТМ, продолжают продвигаться в направлении разработки композиций на основе известных антипиренов или способов модификации волокнообразующих полимеров для снижения их горючести.

Целью данного этапа работы является обобщение и систематизация результатов исследований термической стабильности и огнестойкости текстильных материалов различного состава, полученных отечественными и зарубежными учеными, по таким показателям как воспламеняемость, скорость распространения пламени, теплофизические свойства, термические характеристики.

Анализируя нормативные и правовые акты Российской Федерации в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, необходимо отметить, в частности, что статья 13 Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»<sup>1</sup> регламентирует перечень основных показателей пожарной опасности текстиля к числу которых относятся: горючесть; воспламеняемость; способность распространения пламени по поверхности; дымообразующая способность; токсичность продуктов горения. В приведенном документе, в частности, указано, что ТМ классифицируются на легковоспламеняемые (ЛВ) и трудновоспламеняемые (ТВ); а по распространению пламени подразделяются на 3 группы: не распространяющие пламя по поверхности; медленно распространяющие пламя по поверхности; быстро распространяющие пламя по поверхности. Таким образом, нормируемые показатели пожарной опасности текстильных материалов уже обозначены в указанном Федеральном законе.

Переходя к научному анализу отечественного и зарубежного опыта исследований в области пожарной опасности текстильных материалов, отметим, что в настоящее время данному вопросу уделяется значительное внимание и в России, и за ее пределами.

Из отечественных исследователей весомый вклад в развитие указанного направления внесли Перепелкин К. Е., Бесшапошникова В. И., Константинова Н. И., Морыганов А. П., Коломейцева Э. А., Болодьян Г. И., а также авторские коллективы, проводящие

исследования в Ивановском государственном химико-технологическом университете, Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, Российском государственном университете им. А.Н. Косыгина.

Следует отметить, что и в нашей стране, и за рубежом исследователи придерживаются практически одинакового подхода к изучению пожарной опасности ТМ. Так, в совместной работе А.Р. Хоррокса и С. Назаре, посвященной исследованию воспламеняемости тканей, выделяются следующие основные показатели пожарной опасности текстильных материалов: легкость воспламенения; скорость распространения пламени; механизм теплопередачи; скорость тепловыделения; общее количество выделяемого тепла. В качестве параметров текстильного материала, влияющих на его пожароопасные свойства, авторы выделяют: химический состав волокон; взаимодействие различных типов волокон для смесовых и композитных тканей; особенности структуры ткани (наличие тканой структуры и тип переплетения); плотность и толщину полотна; ориентацию ткани в пространстве (горизонтальная, вертикальная, под углом); расположение точки воспламенения (сверху, снизу, с краю и т.д.) [3].

Группа ученых из Индии и Таиланда (Л. Раджешкумар, П. Сатиш Кумар, Павине Буньясопон и др.) разделили факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость полимерных композитов из натуральных волокон на растительной основе, на три группы: полимерная матрица, натуральное волокно и другие (рис. 1) [4].

Параметры пряжи также могут оказывать влияние на пожарную опасность готового материала. Пряжа с нулевой круткой обеспечивает более высокие значения скорости горения, тогда как пряжа с круткой от 0 до 1,37 витков на см снижает массовую скорость горения до 40 % [5]. Изучение влияния плотности и веса ткани на скорость теплопередачи показало, что для хлопка теплоотдача обратно пропорциональна весу ткани, тогда как для 100 % полиэстера скорость теплоотдачи изменяется в том же направлении, что и вес ткани, однако степень зависимости от веса меньше [6].

Скорость распространения пламени по поверхности образца текстильного материала зависит как от состава ткани и поверхностной плотности, так и от угла наклона. В табл. 1 представлены средние скорости распространения пламени для тканей под разными углами наклона [3].

<sup>1</sup> Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»



**Рис. 1.** Факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость композитов из натуральных волокон

**Таблица 1.** Скорость распространения пламени для тканей под разными углами наклона [3]

| Ткань                                        | Скорость распространения пламени, мм/с |      |      |      |      |     |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|------|------|------|------|-----|
|                                              | Угол наклона                           |      |      |      |      |     |
|                                              | 90 °                                   | 60 ° | 45 ° | 30 ° | 15 ° | 0 ° |
| Легкий хлопок (до 200 г/м <sup>2</sup> )     | 57                                     | 40   | 37   | 30   | 18   | 6   |
| Плотный хлопок (свыше 200 г/м <sup>2</sup> ) | 27                                     | 19   | 18   | 14   | 10   | 3   |
| Полиэстер / хлопок (65: 35)                  | 37                                     | 27   | 24   | 21   | 13   | 9   |
| Полиэстер*                                   | -                                      | -    | -    | -    | -    | -   |
| Легкий шелк <sup>1</sup>                     | -                                      | -    | -    | -    | -    | -   |
| Плотный шелк                                 | -                                      | -    | -    | -    | -    | -   |
| Шерсть <sup>2</sup>                          | 23                                     | 14   | 12   | 10   | 8    | -   |

\* Ткань не воспламенилась.  
<sup>1</sup> Пламя погасло после удаления источника зажигания.  
<sup>2</sup> Пламя гаснет при удалении источника зажигания при горизонтальном расположении образцов.

Среди натуральных целлюлозных волокон, помимо хлопка, для пошива изделий декоративного и технического назначения широко используется лен. Группой ученых из Новой Зеландии, Великобритании и Нидерландов (Нам Кён Ким, Нинтао Мао, Марк С. М. ван Лоосдрехт и др.) проведены исследования огнезащитного льна в сравнении с необработанной льняной тканью саржевого переплетения с поверхностной плотностью 145 г/м<sup>2</sup>. Для исследования характеристик горения текстильного материала было проведено испытание на вертикальное горение Бунзена в соответствии с Федеральными авиационными правилами США (FAR) 25.853 для интерьера воздушных судов<sup>2</sup>. Проведенный тест показал, что через 5 секунд образец необработанного льна воспламенился от пламени горелки и распространил пламя по всей поверхности образца. После поджигания образца в течение 12 секунд пламя горелки было убрано, при этом образец льна продолжил

непрерывное пламенное горение до полного сгорания материала. Для оценки термической стабильности проведен термогравиметрический анализ. Установлено, что начальная потеря веса (приблизительно на 7 %) регистрируется при температуре 100–150 °С и связана с испарением влаги. Дальнейшее снижение веса при 250 °С соответствует температуре термического разложения целлюлозы. Кроме того, на термогравиметрической кривой выделяется дополнительный этап разложения льна при температуре 385 °С, что может быть вызвано разрушением глюкозидной связи в макромолекулах целлюлозы. Полное разложение соответствует 670 °С, при этом остатка не образуется [7].

Центр перспективных композиционных материалов (Новая Зеландия) совместно с Центром аэрокосмических исследований сэра Лоуренса Уэкетта (Австралия) в рамках проведения комплексного экспериментального и

<sup>2</sup> US Federal Aviation Regulation (FAR)

численного анализа для сравнения огнестойкости полипропиленовых композитов на основе шерсти и льна установили, что тип волокна оказывает значительное влияние на характеристики при горизонтальных и вертикальных испытаниях. Для исследования полипропиленовых композитов оценивались теплофизические свойства шерсти и льна, представленные в табл. 2 [8].

Растительные волокна, в частности лен, наиболее часто используются для производства композитов из натуральных волокон и полимеров. Такие волокна состоят из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и других компонентов, которые легко воспламеняются. Гемицеллюлоза, вследствие более низкой молекулярной массы, чем целлюлоза, является наименее термостойкой и начинает разлагаться при температуре 200 °С. Процесс разложения целлюлозы происходит при 350 °С. Лигнин, являясь сложным природным полимерным соединением,

разлагается в широком диапазоне температур от 200 до 600 °С. Было обнаружено, что при термическом разложении целлюлозы протекают две параллельные реакции: деполимеризация и дегидратация. Деполимеризация приводит к образованию левоглюкозана – продукта термической деструкции целлюлозы (одного из оптических изомеров глюкозана), который способствует выделению большого количества легко воспламеняющихся летучих веществ и меньшему обугливанию, чем при дегидратации. Отмечено, что большинство натуральных волокон подвергаются 60 %-ному термическому разложению при температуре 215–310 °С с энергией активации 160–170 кДж/моль [9].

Таким образом, пожарная опасность различных текстильных волокон зависит от их химического состава и структуры. В табл. 3 приведены показатели пожарной опасности некоторых натуральных волокон.

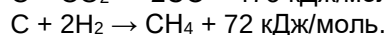
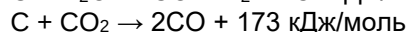
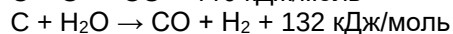
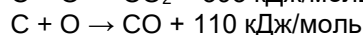
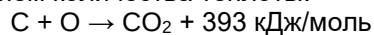
Таблица 2. Теплофизические свойства льняных и шерстяных волокон [8]

| Свойство                                 | Единица измерения | Шерсть              | Лён                  | Обугленный остаток (шерсть) | Обугленный остаток (лён) |
|------------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Плотность                                | кг/м <sup>3</sup> | 1390                | 1400                 | 523,4                       | 550                      |
| Излучательная способность                | -                 | 0,85                | 0,85                 | 0,95                        | 0,93                     |
| Удельная теплоемкость                    | кДж / кг·К        | 2,38                | 1,60                 | 2,3                         | 2,0                      |
| Теплопроводность                         | Вт / м·К          | 0,047               | 0,30                 | 0,1                         | 0,13-0,225               |
| Теплота сгорания                         | кДж / кг          | 2,1×10 <sup>4</sup> | 1,1×10 <sup>4</sup>  | 2,2×10 <sup>4</sup>         | 2,4×10 <sup>4</sup>      |
| Теплота реакции термолиза                | кДж / кг          | 1390                | 1411                 | -                           | -                        |
| Энергия активации реакции термоокисления | Дж / моль         | -                   | 1,15×10 <sup>5</sup> | 1,15×10 <sup>5</sup>        | 1,23×10 <sup>5</sup>     |
| Остаток                                  | кг / кг           | 0,24                | 0,05                 | 0,02                        | -                        |

Таблица 3. Показатели пожарной опасности различных натуральных волокон [10]

| Волокно | Кислородный индекс, % | Теплота сгорания, кДж/моль | Температура воспламенения, °С | Температура самовоспламенения, °С | Дымообразование       |                         | Газы, образующиеся при горении                                |
|---------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
|         |                       |                            |                               |                                   | Снижение видимости, м | Оптическая плотность, % |                                                               |
| хлопок  | 18,4                  | 16,3                       | 255                           | 400                               | 4                     | 0,02                    | CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> O                        |
| лен     | 17,4                  | 15,9                       | 256                           | 390                               | 4                     | 0,02                    | CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> O                        |
| шерсть  | 25,2                  | 20,5                       | 242                           | 570 - 600                         | 18                    | 0,09                    | CO <sub>2</sub> , CO, HCN, NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O |

Отмечено, что в лигноцеллюлозных волокнах наиболее пожароопасным элементом является углерод. Ниже представлены возможные реакции сгорания источников углерода с указанием количества теплоты:



Текстильные материалы из целлюлозных волокон обладают низкой огнестойкостью и легко воспламеняются, поскольку состоят из углерода, водорода и кислорода, поддерживающего горение. В работе [10] для исследования скорости выделения тепла из разных текстильных материалов, в том числе хлопка, льна и шелка, использован конусный калориметр. С помощью данного прибора определено, что значение максимальной скорости тепловыделения (PHRR) зависит от времени достижения

пика (TTI). Эти показатели, в свою очередь связаны с воспламеняемостью образца. Эти два параметра – PHRR и TTI – могут быть объединены в один индекс FIGRA (Индекс темпа роста пожара), который представляет собой соотношение PHRR к времени, за которое PHRR достигается, и может быть использован для ранжирования текстильных материалов по пожарной опасности. Чем выше значение индекса FIGRA, тем выше пожарная опасность, что предполагает высокую максимальную скорость тепловыделения при очень малом времени воспламенения. Таким образом, показание индекса FIGRA в действительности отражает скорость нагрева материала. В табл. 4 приведены результаты калориметрии как для натуральных, так и искусственных волокон. Величина индекса FIGRA рассчитана при тепловом потоке 35 кВт/м<sup>2</sup>. Оценка «0» соответствует наиболее безопасному текстильному материалу, оценка «6» – самой пожароопасной ткани [10].

**Таблица 4. Ранжирование образцов текстильных материалов по пожарной опасности на основании результатов калориметрии [10]**

| Волокно            | Время достижения максимума, с TTI | Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м <sup>2</sup> PHRR | Общее тепловыделение, МДж/м <sup>2</sup> THR | Индекс темпа роста пожара, (кВт/м <sup>2</sup> )/с FIGRA | Оценка пожарной опасности на основании FIGRA |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Легкий хлопок      | 9                                 | 94                                                            | 1,0                                          | 9,40                                                     | 3                                            |
| Плотный хлопок     | 14                                | 128                                                           | 3,2                                          | 9,10                                                     | 2                                            |
| Полиэстер / хлопок | 10                                | 157                                                           | 1,9                                          | 15,4                                                     | 5                                            |
| Акриловое волокно  | 17                                | 292                                                           | 4,5                                          | 16,2                                                     | 6                                            |
| Легкий шелк        | -                                 | -                                                             | -                                            | -                                                        | 0                                            |
| Плотный шелк       | 28                                | 45                                                            | 1,0                                          | 1,5                                                      | 1                                            |
| Шерсть             | 16                                | 171                                                           | 2,9                                          | 10,6                                                     | 4                                            |

В работах отечественных авторов пожарная опасность текстильных материалов также в большей степени рассматривается в контексте выбора огнезащитной обработки (состава и способа нанесения).

Сухое хлопковое волокно начинает терять прочность при температуре более 150 °С. Целлюлоза выдерживает кратковременный нагрев до 200 °С. Длительное нагревание при температуре 100 °С вызывает необратимые структурные изменения, вследствие которых теряется прочность волокна, снижается его способность к набуханию и окрашиванию. Волокна сначала приобретают легкую желтизну, затем буреют и обугливаются при температуре 250 °С, когда наступает пиролитическое

разложение целлюлозы. При температуре выше 400° С происходит самовозгорание хлопка [11].

Льняное волокно при нагревании способно выдерживать более высокие температуры, чем хлопок, так как имеет большую гигроскопичность [12] (в нормальных атмосферных условиях при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 % хлопковое волокно содержит 6–8 % влаги, льняное – до 12 % [13]). Шерсть также относится к натуральным волокнам. При огневом воздействии ее волокна спекаются, но в отсутствии пламени горение не поддерживается [12].

Ткани из хлопчатобумажных волокон легко воспламеняются от источников зажигания, имеют значения кислородного индекса меньше 21 % (ткань «саржа» с поверхностной плотностью 250 г/м<sup>2</sup> – 17,5 %; вафельное полотно с поверхностной плотностью 200 г/м<sup>2</sup> – 17,2 %; ткань «бязь» с поверхностной плотностью 146 г/м<sup>2</sup> – 17,2 %). Испытания на воспламеняемость показали, что все перечисленные образцы воспламеняются без особых затруднений и поддерживают самостоятельное горение после удаления источника зажигания. Характер полученных термогравиметрических зависимостей указывает на то, что до температуры 250 °С целлюлоза не претерпевает существенных изменений. В интервале температур 280–350 °С процесс термодеструкции идет с высокой скоростью. Максимальная скорость термодеструкции для хлопковой ткани имеет место при 330 °С [14].

Процесс разложения льняного волокна также начинается с 250 °С, при этом температура окончания термодеструкции льняного волокна (375 °С) выше, чем для хлопкового волокна (350 °С). Максимальная скорость термодеструкции для льна достигается при температуре 355 °С. Термодеструкция хлопка происходит быстрее и заканчивается при меньшей температуре, хлопковый образец теряет больший

процент массы. Общий процент потери массы для хлопкового волокна составил 76,4 %, для льняного волокна – 75,5 % [15]. Минимальные значения на кривых теплового потока при температурах 280–360 °С для обоих волокон свидетельствуют о том, что наряду с деполимеризацией происходят химические изменения элементарных звеньев макромолекул целлюлозы и сопутствующих примесей [16].

Помимо химического состава волокон и поверхностной плотности текстильного материала рассматривалось влияние вида отделки на пожароопасные свойства. Проведенные исследования для ткани «бязь» одного состава (100 % хлопок) и поверхностной плотности (140 г/м<sup>2</sup>), но разных видов отделки (суровая, отбеленная, напечатанная, гладкокрашеная) показали, что кривые потери массы для гладкокрашеной, напечатанной и отбеленной «бязи» имеют перегибы в одном температурном диапазоне (263–376 °С) и частично накладываются друг на друга. Процент потери массы гладкокрашеной «бязи» составил 76,08 %; напечатанной – 77,88 %; отбеленной – 77,96 %. Суровая «бязь» сохранила наибольший процент от первоначальной массы – 32,61 %, что связано с наличием органических природных примесей, которые также разлагаются до угольного остатка (рис. 2).

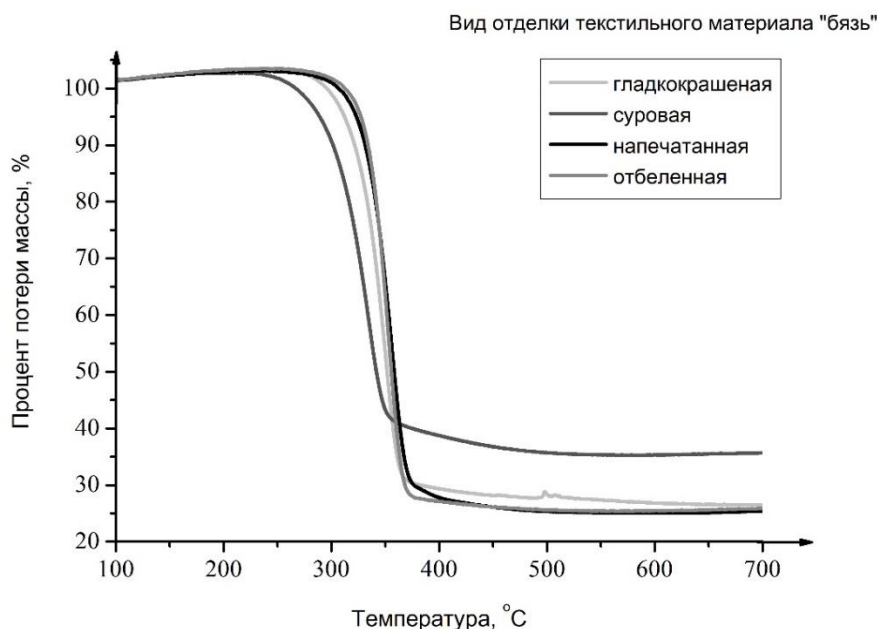


Рис. 2. Термогравиметрические кривые для ткани «бязь» с различными видами отделки

Наибольшая скорость термического разложения для суровой «бязи» наблюдается при температуре 334 °С, что соответствует данным о том, что процесс разложения начинается и заканчивается для данного материала раньше. Кривая теплового потока для отбеленной, гладкокрашеной и напечатанной «бязи» имеет два ярко выраженных пика, характеризующих реакции, идущие с поглощением тепла в инертной среде. Появление первого пика в диапазоне температур 350–370 °С можно объяснить «плавлением» кристаллических структур целлюлозы. При температурах порядка 600 °С характер кривых теплового потока для всех испытываемых образцов одинаков и соответствует полной термической деструкции целлюлозы [17].

Развитие современных технологий в области текстильной промышленности позволяет применять инновационные инструменты исследования свойств тканей и волокон. Одним из таких инструментов является достижение в области искусственного интеллекта ChatGPT. Исследование ученых из Китая (Ицинь Сюй, Чао Чжи, Хао Го и др.) в рамках работы «ChatGPT for textile science and materials: A perspective» («ChatGPT для текстильной науки и материалов: перспектива») позволили сделать вывод о том, что ChatGPT предоставляет надежную платформу для эффективной обработки и анализа экспериментальных данных, обеспечивая более точную корреляцию между свойствами материалов и их внутренней структурой. Это методологическое достижение означает кардинальный сдвиг в анализе данных в материаловедении. ChatGPT имеет потенциал в обработке и анализе данных, текстильном дизайне,

обнаружении дефектов тканей и моделировании материалов [18].

### Вывод

Проведенный аналитический обзор имеющихся в открытом доступе научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей показал, что изучению вопроса термической стабильности и огнезащиты ТМ и разработке способов снижения их горючести придается большое значение. Тщательно изучаются пожароопасные свойства текстиля и разрабатываются способы снижения его горючести. С научной точки зрения необходимо отметить, что между основными показателями, характеризующими пожарную опасность ТМ – значениями кислородного индекса текстильных материалов, результатами испытаний на воспламеняемость и числовыми значениями величин, полученных при проведении термического анализа – имеется высокая степень корреляции внутри групп тканей одинаковой природы и химического состава [19].

*Работа выполнена в рамках государственного задания на НИР «Разработка базы данных «Пожарная опасность текстильных материалов» в целях судебной пожарно-технической экспертизы» (НИР «Текстиль») (подпункт 9.1 пункта 9 раздела I Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности, преодоления последствий радиационных аварий и катастроф на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов, утвержденного приказом МЧС России от 17.07.2024 г. № 592).*

### Список литературы

1. Малых А. Р. Ассортимент современных огнестойких текстильных материалов // «Концепт». Научно-методический электронный журнал. 2016. Т. 3. С. 116–120. URL: <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.
2. Самохвалов Е. Вопросы огнезащиты текстильных материалов // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. 2011. № 4 (52). С. 28–31.
3. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics. Editor(s): Jinlian Hu, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing, Woodhead Publishing, 2008, pp. 339–388.
4. Flame retardance behaviour and degradation of plant-based natural fiber composites – A comprehensive review / L. Rajeshkumar, P. S. Kumar, P. Boonyasopon [et al.]. Construction and Building Materials, 2024, vol. 432, 136552, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136552>

5. Miller B., Goswami B. C. Effects of constructional factors on the burning rates of textile structures: Part I: Woven thermoplastic fabrics. Textile Research Journal, 1971, vol. 41, p. 949.
6. Webster C. T., Wraight H. G. H., Thomas P. H. Heat-Transfer from Burning Fabrics. Journal of the Textile Institute Transactions, 1962, vol. 53, no. 1, pp. 29–37.
7. Flame retardant property of flax fabrics coated by extracellular polymeric substances recovered from both activated sludge and aerobic granular sludge / N. K. Kim, N. Mao, R. Lin [et al.]. Water Research, 2020, vol. 170, 115344, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115344>.
8. Effects of sample orientation on the fire reaction properties of natural fibre composites / S. Dutta, N. K. Kim, R. Das [et al.]. Composites Part B: Engineering, 2019, vol. 157, pp. 195–206.
9. Flame retardancy and fire mechanical properties for natural fiber/polymer composite: A

review / Ao X., Vázquez-López A., Mocerino D., [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2024, vol. 268, 111069, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111069>.

10. Kozłowski R. M., Muzyczek M. Improving the flame retardancy of natural fibres. *The Textile Institute Book Series, Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 355–391.

11. Отделка хлопчатобумажных тканей: справочник / под ред. Б. Н. Мельникова. Иваново: изд-во «Талка», 2003. 484 с.

12. Шульгина Н. Г., Бабкина Н. А. Материаловедение в производстве швейных изделий: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 29.03.05. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. 128 с.

13. Мельников Б. Н., Виноградова Г. И. Применение красителей: учебник для вузов. М.: Химия, 1986. 240 с.

14. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А., Калашников Д. В. Исследование показателей пожарной опасности текстильных материалов в целях судебной пожарно-технической экспертизы // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 4 (68). С. 80–85.

15. Оценка пожароопасных свойств текстильных материалов на основе растительных волокон / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Л. Никифоров [и др.] // *Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России*. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 128–132.

16. Оценка пожароопасных свойств текстильных материалов из природных целлюлозных волокон / О. Г. Циркина, Л. В. Шарнина, А. Л. Никифоров [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2019. № 3 (32). С. 81–88.

17. Спиридонова В. Г., Циркина О. Г., Шабунин С. А. Влияние вида отделки на пожароопасные свойства текстильных материалов из хлопковых волокон // *Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны*. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 400–404.

18. ChatGPT for textile science and materials: A perspective / Y. Xu, C. Zhi, H. Guo [et al.]. *Materials Today Communications*, 2023, vol. 37, 107101, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107101>.

19. Анализ методов испытаний по определению классификационных показателей пожарной опасности текстильных материалов и

проблемные вопросы их применения / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Х. Салихова [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2025. № 1 (54). С. 109–123.

## References

1. Malyh A. R. Assortiment sovremennyh ognestojkih tekstil'nyh materialov [Range of modern flame-resistant textile materials]. *«Koncept». Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal*, 2016, vol. 3, pp. 116–120. URL: <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.

2. Samohvalov E. Voprosy ognезashchity tekstil'nyh materialov [Issues of fire protection of textile materials]. *F+S: tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoj zashchity*, 2011, vol. 4 (52), pp. 28–31.

3. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics. Editor(s): Jinlian Hu, In *Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing*, Woodhead Publishing, 2008, pp. 339–388.

4. Flame retardance behaviour and degradation of plant-based natural fiber composites – A comprehensive review / L. Rajeshkumar, P. S. Kumar, P. Boonyasopon [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2024, vol. 432, 136552, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136552>.

5. Miller B., Goswami B. C. Effects of constructional factors on the burning rates of textile structures: Part I: Woven thermoplastic fabrics. *Textile Research Journal*, 1971, vol. 41, p. 949.

6. Webster C. T., Wraight H. G. H., Thomas P. H. Heat-Transfer from Burning Fabrics. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1962, vol. 53, no. 1, pp. 29–37.

7. Flame retardant property of flax fabrics coated by extracellular polymeric substances recovered from both activated sludge and aerobic granular sludge / N. K. Kim, N. Mao, R. Lin [et al.]. *Water Research*, 2020, vol. 170, 115344, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115344>.

8. Effects of sample orientation on the fire reaction properties of natural fibre composites / S. Dutta, N. K. Kim, R. Das [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 157, pp. 195–206.

9. Flame retardancy and fire mechanical properties for natural fiber/polymer composite: A review / Ao X., Vázquez-López A., Mocerino D., [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2024, vol. 268, 111069, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111069>.

10. Kozłowski R. M., Muzyczek M. Improving the flame retardancy of natural fibres. *The Textile Institute Book Series, Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 355–391.

11. *Otdelka hlopchatobumazhnyh tkanej: spravochnik* [Finishing of cotton fabrics: a reference book] / pod red. B. N. Mel'nikova. Ivanovo:



izd-vo «Talka», 2003. 484 p.

12. Shul'gina N. G., Babkina N. A. *Materi-  
alovedenie v proizvodstve shvejnyh izdelij: sbornik  
uchebno-metodicheskikh materialov dlya naprav-  
leniya podgotovki 29.03.05* [Materials science in  
the manufacture of sewing products: a collection of  
educational and methodological materials for the  
training area 29.03.05]. Blagoveshchensk: Amur-  
skij gos. un-t, 2017. 128 p.

13. Mel'nikov B. N., Vinogradova G. I. *Primenenie krasitelej: ucheb. dlya vuzov* [The use  
of dyes: a textbook for universities]. M.: Himiya,  
1986. 240 p.

14. Storonkina O. E., Mochalova T. A., Kal-  
ashnikov D. V. Issledovanie pokazatelej pozhar-  
noy opasnosti tekstil'nyh materialov v celyah sudebnoy  
pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy [Investigation  
of fire hazard indicators of textile materials for the  
purposes of forensic fire-technical expertise]. *Sov-  
remennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe  
prilozhenie*, 2021, vol. 4 (68), pp. 80–85.

15. Ocenka pozharoopasnyh svoystv  
tekstil'nyh materialov na osnove rastitel'nyh volo-  
kon [Assessment of fire-hazardous properties of  
textile materials based on vegetable fibers] /  
V. G. Spiridonova, O. G. Tsirkina, A. L. Nikiforov [et  
al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik  
materialov XV Mezhdunarodnoy nauchno-praktich-  
eskoj konferencii, posvyashchennoj 30-j godovsh-  
chine MChS Rossii*. Ivanovo: FGBOU VO  
Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya  
GPS MChS Rossii, 2020, pp. 128–132.

16. Ocenka pozharoopasnyh svoystv

tekstil'nyh materialov iz prirodnyh cellyuloznyh vo-  
lokon [Assessment of fire-hazardous properties of  
textile materials made from natural cellulose fibers]  
/ O. G. Tsirkina, L. V. Sharnina, A. L. Nikiforov [et  
al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zash-  
chity*, 2019, issue 3 (32), pp. 81–88.

17. Spiridonova V. G., Tsirkina O. G., Sha-  
bunin S. A. Vliyanie vida otdelki na  
pozharoopasnye svoystva tekstil'nyh materialov iz  
hlopkovyh volokon [The effect of the type of finish  
on the fire-hazardous properties of textile materials  
made of cotton fibers]. *Aktual'nye voprosy  
sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem  
obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov:  
materialy IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy  
konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu obra-  
zovaniya grazhdanskoj oborony*. Ivanovo:  
Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya  
GPS MChS Rossii, 2022, pp. 400–404.

18. ChatGPT for textile science and materials:  
A perspective / Y. Xu, C. Zhi, H. Guo [et al.]. *Materials  
Today Communications*, 2023, vol. 37, 107101,  
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107101>.

19. Analiz metodov ispytaniy po opredele-  
niyu klassifikatsionnykh pokazatelej pozhar-  
noy opasnosti tekstil'nyh materialov i problemnye voprosy ih  
primeneniya [Analysis of test methods for deter-  
mining classification indicators of fire hazard of tex-  
tile materials and problematic issues of their appli-  
cation] / V. G. Spiridonova, O. G. Tsirkina, A. H.  
Salihova [et al.]. *Sovremennye problemy gra-  
zhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 1 (54), pp. 109–  
123.

*Клушин Алексей Николаевич*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново  
соискатель ученой степени кандидата наук

E-mail: [gpn-obninsk@mail.ru](mailto:gpn-obninsk@mail.ru)

*Klushin Alexey Nikolaevich*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy  
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies  
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of science degree candidate of sciences

E-mail: [gpn-obninsk@mail.ru](mailto:gpn-obninsk@mail.ru)

*Циркина Ольга Германовна*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, доцент, профессор

E-mail: [ogtsirkina@mail.ru](mailto:ogtsirkina@mail.ru)

*Tsirkina Ol'ga Germanovna*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo  
doctor of technical sciences, associate professor, professor  
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

*Спиридонова Вероника Гербертовна*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново  
кандидат технических наук, старший преподаватель  
E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

*Spiridonova Veronika Gerbertovna*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo  
candidate of technical sciences, senior lecturer  
E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

*Пестов Игорь Васильевич*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново  
преподаватель  
E-mail: pestov.ig@yandex.ru

*Pestov Igor Vasilyevich*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo  
lecturer  
E-mail: pestov.ig@yandex.ru