

УДК 677.057+614.8

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_6\_177

**К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ON THE ISSUE OF ENSURING FIRE SAFETY  
OF ENTERPRISES TEXTILE INDUSTRY**

*О.Г. ЦИРКИНА, В.Г. СПИРИДОНОВА, А.Х. САЛИХОВА, С.А. СЫРБУ*

*O.G. TSIRKINA, V.G. SPIRIDONOVA, A.KH. SALIKHOVA, S.A. SYRBU*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)**

**(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters)**

E-mail: ogsirkina@mail.ru; nika.spiridonowa@yandex.ru; salina\_77@mail.ru; syrbye@yandex.ru

*Исследование посвящено изучению пожароопасных свойств текстильных материалов и разработке рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности процессов производства и складского хранения сырья, готовых тканей и изделий из них. Приведена методика определения кислородного индекса, применяемая для широкого спектра материалов, в том числе тканей, выработанных из хлопковых, льняных и полиэфирных волокон, с целью выявления условий, при которых текстильные материалы теряют способность к горению. На основании проведенных исследований рассчитана скорость выгорания тканей для экспериментально определенных значений кислородного индекса. Приведены данные термического анализа указанных объектов исследования для выявления особенностей термоокислительной деградации волокнистых материалов в условиях высоких температур при доступе кислорода воздуха. Экспериментально доказано, что тканые материалы и изделия из них легко воспламеняются, быстро горят с выделением большого количества дыма, что связано со структурными особенностями природных целлюлозных волокон, обеспечивающих присутствие большого количества кислорода в порах волокна и наличием воздушных пустот, следствием чего является возможность горения без доступа воздуха. Наличие в составе ткани синтетической составляющей сопровождается горением каплепадением, что является дополнительным источником распространения пламени. Полученные результаты представляют интерес с теоретической и практической точки зрения, поскольку данные по пожароопасным свойствам текстильных волокон и материалов позволяют спрогнозировать развитие пожара и усовершенствовать противопожарные мероприятия на предприятиях текстильной промышленности.*

*The research is devoted to the study of the fire-hazardous properties of textile materials and the development of recommendations for ensuring fire safety of production processes and storage of raw materials, finished fabrics and products from them. A method for determining the oxygen index is given, which is used for a wide range of materials, including fabrics made from cotton, linen and polyester fibers, in order to identify conditions under which textile materials lose their ability to burn. Based on the conducted studies, the rate of tissue burnout was calculated for experimentally determined values of the oxygen index. The data of thermal analysis of the specified objects of research are presented to identify the features of the thermo oxidative destruction of fibrous materials in high temperature conditions with access to oxygen in the air. It has been experimentally proved that woven materials and products made from them are easily ignited, burn quickly with the release of a large amount of smoke, which is due to the structural features of natural cellulose fibers, which ensure the presence of a large amount of oxygen in the fiber pores and the presence of air voids, which results in the possibility of burning without air access. The presence of a synthetic component in the fabric accompanies burning by fall of melt droplets, which is an additional source of flame propagation. The results obtained are of interest from a theoretical and practical point of view, since the data on the fire-hazardous properties of textile fibers and materials make it possible to predict the development of fire and improve fire-fighting measures at textile industry enterprises.*

**Ключевые слова:** пожар, пожарная безопасность, текстильный материал, кислородный индекс, термический анализ.

**Keywords:** fire, fire safety, textile material, oxygen index, thermogravimetric analysis.

#### *Введение*

Предприятия текстильной промышленности характеризуются наличием большого количества волокнистых веществ, органической пыли и мелких волокон сырья, оседающих на оборудовании и конструкции зданий. В связи с этим при возникновении пожаров на текстильных предприятиях отмечается быстрое распространение огня, высокая степень задымления и интенсивный рост температуры внутри горящих помещений.

Наибольшую пожарную опасность представляют волокнистые вещества растительного происхождения – хлопок и лен, способные в разрыхленном состоянии интенсивно гореть открытым пламенем. В спрессованном виде (в кипах) хлопковые и льняные волокна горят медленнее, однако огонь проникает внутрь кип, что осложняет действия по тушению пожара. Помимо этого, значительную опасность представляют и материалы из синтетических

волокон, которые обладают свойством термопластичности и плавятся при горении с образованием раскаленных капель.

На территории Ивановской области функционирует значительное число предприятий текстильной и швейной промышленности. Несоблюдение требований пожарной безопасности способно привести к возникновению крупных пожаров, сопровождающихся гибелью и травмированием людей, а также значительным материальным ущербом. 03 апреля 2017 г. в г. Иваново произошел крупный пожар в цехе по производству тканевых перчаток. Из производственных зданий было эвакуировано 90 человек. Площадь возгорания составила 600 м<sup>2</sup>. Погибли двое пожарных. 17 июля 2017 г. в 10.40 часов стало известно о возгорании в трехэтажном кирпичном здании текстильного предприятия в г. Наволоки. Огнем уничтожены производственные объекты на площади 400 м<sup>2</sup>. 18 мая 2018 г. произошел крупный пожар на текстильной

фабрике в г. Кинешма Ивановской области. Площадь возгорания составила 600 м<sup>2</sup>. 20 февраля 2018 г. на швейной фабрике в г. Иваново произошел пожар, в результате которого погиб один человек. Во всех случаях материальный ущерб оценивался от 30 до 500 миллионов рублей [1].

Авторами работ [2], [3] выделены проблемные вопросы, связанные с нарушениями требований пожарной безопасности на предприятиях текстильной промышленности, в частности, применение нормативно-правовых актов, вступивших в силу после введения объекта защиты в эксплуатацию, размеры эвакуационных путей и выходов, исполнение противопожарных преград и их заполнение. Однако не обозначена еще одна серьезная проблема – возможность количественной оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, перерабатывающихся и хранящихся на территории предприятий.

Статистика пожаров на предприятиях текстильной и швейной промышленности свидетельствует об актуальности вопроса, связанного с изучением пожароопасных свойств волокнистых материалов и разработкой рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности процессов производства и складского хранения сырья, готовых тканей и изделий из них.

#### *Методы исследования*

Практический интерес представляет изучение поведения хлопковых, льняных и полиэфирных волокон, а также тканей, выработанных из них, в условиях доступа кислорода воздуха. Для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, где вырабатываются и хранятся изделия из целлюлозных и синтетических волокон, необходимо знать условия, при которых текстильные материалы не будут способны гореть. Данному требованию соответствует кислородный индекс (КИ).

Сущность метода определения кислородного индекса заключается в нахождении минимальной концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси, при которой наблюдается самостоятельное горение вертикально расположенного образца, зажигаемого сверху. В работах [4], [5]

рассмотрена возможность использования данного метода применительно к тканям. В работе [6] отмечалось, что для текстильных материалов отсутствует гостированная методика определения кислородного индекса, поэтому исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 21793-76 "Пластмассы. Метод определения кислородного индекса".

Принципиальная схема установки для определения кислородного индекса представлена на рис.1 – схема установки для определения кислородного индекса. Установка включает в себя следующие элементы: 1 – вентиль предварительной регулировки; 2 – вентиль точной регулировки; 3 – смеситель; 4 – расходомер; 5 – реакционная камера; 6 – держатель образца; 7 – кислородный анализатор.

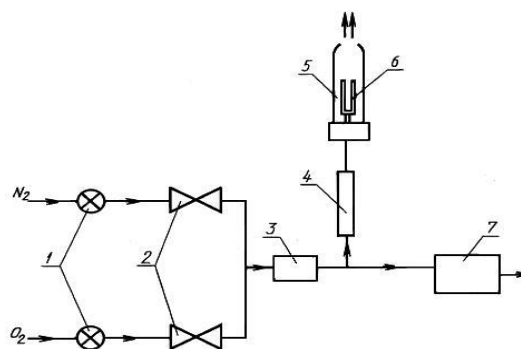


Рис. 1

Держатель образца предназначен для закрепления его в вертикальном положении в трубе (рис. 2 – держатель для фиксации образца ткани).

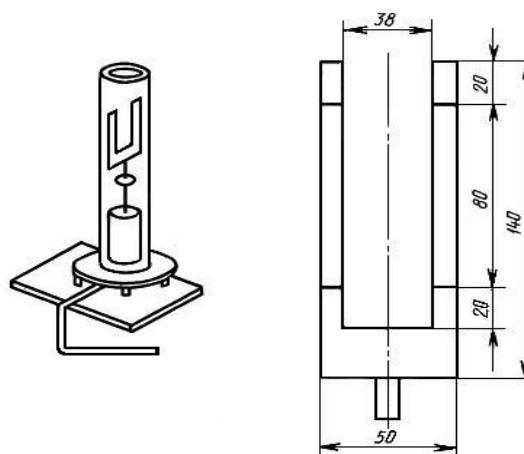


Рис. 2

По ходу испытания отмечаются процессы, сопровождающие горение: падение частиц, обугливание, неравномерное горение, тление.

В ходе работы также были проведены исследования, связанные с изучением процесса термического разложения материалов из растительных и полиэфирных волокон, с использованием методов термогравиметрического анализа, дифференциального

термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии по стандартным методикам [7].

#### *Результаты и обсуждение*

В рамках представленного исследования получены следующие результаты, характеризующие, поведение материалов из природных целлюлозных и полиэфирных волокон при горении (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Волокно/ткань	Поведение при горении		Остаток после горения	Характерный запах
	В пламени	При удалении из пламени		
Волокно: хлопок, лен	Интенсивно горит	Горит	Пепел серого цвета	Жженная бумага
Волокно: полиэфир	Плавится вблизи пламени, интенсивно горит в пламени	Затухает	Твердый спекшийся стеклообразный шарик	Неопределенный "синтетический", коптит
Ткань: хлопчатобумажная и льняная	Интенсивно горит	Горит	Пепел серого цвета	Жженная бумага
Ткань: хлопкополиэфирная	Оплавляется вблизи пламени, интенсивно горит в пламени	Горит с последующим затуханием	Серый пепел со стеклообразным остатком	Ощущается запах жженной бумаги

Из приведенных данных видно, что при обычных условиях и при свободном доступе кислорода воздуха исследуемые текстильные материалы из природной целлюлозы полностью сгорают вне зависимости от вида волокна. Поэтому, наибольшую пожарную опасность имеют волокна из природной целлюлозы, в частности, хлопковое, поскольку обладает достаточно рыхлой структурой по сравнению с льняным и имеет более развитую внутреннюю поверхность, то есть пористость. Полиэфирное волокно имеет очень низкую пористость структуры, поэтому характер его горения резко отличается от горения хлопка. Полиэфирное волокно плавится вблизи огня, но загорается с трудом и гаснет после удаления источника зажигания, горение протекает с выделением черной копоти. Хлопкополиэфирная ткань содержит 67% синтетической составляющей и 33% хлопка, вследствие чего при горении в большей степени ведет себя как полиэфир.

Проведенные испытания показали, что хлопчатобумажная ткань имеет величину кислородного индекса 18,0%. Для ткани из льна данный показатель составляет 20,4%.

Отличие в значениях КИ можно объяснить структурой и составом исходного хлопкового и льняного волокон: разным количеством внутренних пор или пустот, заполненных воздухом, количеством горючих примесей волокна, а также структурными особенностями самих текстильных полотен (в частности, ткацким переплетением, которое определяет объем содержащегося в межволоконном пространстве воздуха). Величина КИ для полиэфирной ткани составила 22,5%. Смесовая хлопкополиэфирная ткань (33 хл : 67 пэ) имеет значение КИ 19,6%. Из полученных данных видно, что показатель КИ для смесовой ткани определяется волокнистым составом текстильного полотна, поэтому находится внутри диапазона величин 18,0...22,5%. Таким образом, зная значения кислородного индекса натуральных и химических волокон, можно сделать вывод о диапазоне, в границах которого будет изменяться величина КИ смесовых тканей. При этом стоит учитывать, что на значение кислородного индекса целлюлозных текстильных материалов оказывает влияние их толщина и поверхностная плотность.

На основании проведенных исследований рассчитана скорость выгорания тканей

при различных величинах кислородного индекса (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Название ткани	Значение КИ, %	Скорость выгорания, м/с (мм/с)
Хлопчатобумажная	18,0	0,00198 (1,980)
Льняная	20,4	0,001724 (1,724)
Полиэфирная	22,5	0,000605 (0,605)
Хлопкополиэфирная	19,6	0,001809 (1,809)

Данные, полученные в ходе проведения термического анализа, показали, что под действием высокой температуры происходят значительные изменения в структуре целлюлозы и полиэфира. Глубина и характер данных изменений зависит как от температуры обработки, так и от длительности нагрева. Кроме того, степень полимеризации хлопковой и льняной целлюлозы, соответственно, длина макромолекул и наличие в волокнах различных по качественному и количественному составу природных примесей также находят отражение в поведении материалов при высокотемпературной обработке. При увеличении температуры свыше 120°C в природном полимере начинают протекать процессы термической деструкции. При температурах, превышающих 240°C, начинается процесс дегидратации, в результате чего изменяется химический состав элементарного звена целлюлозы. Для полиэфирной составляющей температура плавления лежит в интервале 258...264°C, что находит отражение в изменении хода кривой теплового потока, которое указывает на переход синтетического полимера из твердого состояния в вязкотекучее. В диапазоне 280...360°C параллельно с продолжающейся деполимеризацией протекают более глубокие изменения химического состава элементарного звена целлюлозы и примесей волокна, а также полиэфирной составляющей. Данный факт подтверждается минимальными значениями величин тепловых эффектов на кривых теплового потока. При воздействии на хлопкополиэфирный материал температуры свыше 290°C идет термоокислительная деструкция полимеров с выделением различных газообразных продуктов (СО и СО<sub>2</sub>), а также возможно образование уксусного альдегида и терефталевой кислоты. Указанные процессы сопровождаются

выделением тепла и завершаются при температуре 400...450°C. Зольный остаток хлопкополиэфирных волокнистых материалов представляет собой смесь угля и смолы; основными жидкими продуктами термоокислительной деструкции являются ацетон, уксусная кислота и некоторые другие вещества [8].

Таким образом, показано, что продолжительное воздействие на текстильный материал высокой температуры приводит к деполимеризации волокнообразующих полимеров, входящих в его состав, и выделению газообразных продуктов. При этом с ростом температуры газовой смеси увеличивается скорость реакций термоокисления, идущих с выделением тепла. При достижении температуры самовоспламенения (405...410°C – для хлопка, 440°C – для полиэфира [9], [10]) скорость нагрева резко возрастает за счет протекания внутренних тепловых процессов, результатом чего является самовозгорание материала. В процессе горения смесовых текстильных материалов возможно каплеобразование за счет плавления синтетической составляющей, что способствует распространению пламени и возникновению вторичных очагов пожара.

## В Ы В О Д Ы

В представленной работе на основе экспериментально полученных значений кислородного индекса и данных термического анализа количественно оценены пожароопасные характеристики текстильных материалов из природных целлюлозных и полиэфирных волокон.

Показано, что тканые материалы и изделия из них легко воспламеняются, быстро горят с выделением большого количества дыма и газообразных продуктов, что

объясняется химическим составом и структурой природных целлюлозных волокон, которая обеспечивает присутствие большого количества кислорода в порах волокна и наличие воздушных пустот, следствием чего является горение без доступа воздуха. Помимо этого наличие в составе ткани синтетической составляющей способствует горению каплепадением, что является дополнительным источником распространения пламени.

При разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности предприятий, связанных производством волокнистых материалов, необходимо учитывать наличие большого количества горючего сырья, легкость его воспламенения, значительное количество волокнистой пыли, быстроту распространения огня и трудность тушения. Для предотвращения распространения пожаров необходимо обеспечить соответствующую планировку складов, а также ограничить объемы хранимых текстильных волокнистых материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник / Под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021.
2. *Торопова М.В., Лазарев А.А., Мочалов А.М.* Особенности осуществления пожарного надзора в сфере производства текстильной продукции. // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019, №1 (30). С. 88...94.
3. *Федосов С.В., Торопова М.В., Махов Н.М., Тотиевский П.Б., Павлов Д.С., Виденев А.А.* Разработка рекомендаций по выбору средств и методов для обеспечения пожарной безопасности текстильных производств // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019, №3 (31). С. 97...105.
4. *Horrocks A.R.* Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // *Polymer Degradation and Stability*. – 2013, №98. P.2813...2824.
5. *Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Петров А.В., Циркина О.Г., Шарбанова И.Ю., Румянцева В.Е.* Исследование влияния огнезащитной обработки на термическое разложение ткани // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2018, № 6. С.101...104.
6. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г.* Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, № 4. С. 75...81.

7. ГОСТ 29127-91 (ИСО 7111-87). Пластмассы. Термогравиметрический анализ полимеров. Метод сканирования по температуре. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004.

8. *Вадецкий Ю.В.* Нефтегазовая энциклопедия: в 3-х т. – М.: Моск. отд-ние "Нефть и Газ" Междунар. акад. информатизации (МАИ). – 2002.

9. *Вогман Л.П.* Пожарная опасность процессов тления целлюлозы и растительного сырья // *Техника и технологии*. – 2016, №12. С.56...62.

10. *Сабирзянова Р.Н., Красина И.В.* Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013, № 5. С. 75...79.

#### REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2020: Statistical collection / under the general editorship of D.M. Gordienko. – М.: VNIPO, 2021.

2. *Toropova M.V., Lazarev A.A., Mochalov A.M.* Features of fire supervision in the field of textile production. // *Modern problems of civil protection*. – 2019. No.1 (30). pp. 88...94.

3. *Fedosov S.V., Toropova M.V., Makhov N.M., Totievsky P.B., Pavlov D.C., Videnev A.A.* Development of recommendations on the choice of means and methods for ensuring fire safety of textile industries // *Modern problems of civil protection*. – 2019.3 (31). pp.97...105.

5. *Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Petrov A.V., Tsirкина O.G., Sharabanova I.Yu., Romyantseva V.E.* Investigation of the effect of flame retardant treatment on thermal decomposition of fabric // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, № 6. P. 101...104.

6. *Spiridonova V.G., Tsirкина O.G.* Analysis of methods for assessing the flame-retardant properties of textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021. No. 4. P. 75...81.

7. ISO 7111-87. Plastics. Thermogravimetric analysis of polymers. Temperature scanning method. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2004.

8. *Vadetsky Yu.V.* Oil and gas Encyclopedia: in 3 t. - Moscow: Moscow department "Oil and Gas" International. acad. Informatization (MAI). – 2002.

9. *Vogman L.P.* Fire danger of the processes of smoldering cellulose and vegetable raw materials // *Technique and technology*. – 2016. No.12. P.56...62.

10. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Modern trends in the production of fire-resistant textile materials // *Bulletin of Kazan Technological University*. –2013. No. 5. P. 75...79.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК "Государственный надзор") Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 31.10.22