

УДК 64+128
DOI 10.47367/0021-3497_2026_1_163

**ИЗУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ
МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АНТИПИРЕНАМИ**

**STUDY OF SPECIAL PROPERTIES OF CELLULOSE-CONTAINING MATERIALS
MODIFIED WITH FIRE RETARDANTS**

Р.И. ИСМАИЛОВ¹, И.К. БАЖЕЛКО², Н.С. СУЛТАНОВА¹, Г.А. УСМАНОВА¹, Р.М. ИСМАИЛОВА³

R.I. ISMAILOV¹, I.K. BAZHELKA², N.S. SULTANOVA¹, G.A. USMANOVA¹, R.M. ISMAILOVA³

*(¹Ташкентский государственный технический университет, Республика Узбекистан)
(²Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь)
(³Национальный институт искусства и дизайна, Республика Узбекистан)*

*(¹Tashkent State Technical University, Republic of Uzbekistan)
(²Belarusian State Technological University, Republic of Belarus)
(³National Institute of Art and Design, Republic of Uzbekistan)*

E-mail: r.i.ismailov1972@gmail.com

Целью данной работы является изучение специальных свойств целлюлозосодержащих текстильных материалов, модифицированных антипиреновыми композициями, а также оценка их огнестойкости и дымообразующей способности. В ходе исследования применялись методы пропитки тканей водными растворами антипиренов с последующей сушкой, кондиционированием и испытаниями по требованиям ГОСТ Р 50810-95, ГОСТ Р 53294-2009 и ГОСТ 12.1.044-89. В качестве объектов исследования использовались хлопчатобумажные ткани с содержанием целлюлозы до 98 %, которые применяются в производстве спецодежды. Антипиреновые композиции готовились на основе вермикулита, ортофосфорной кислоты, водного аммиака и модифицирующих добавок, обеспечивающих улучшение огнезащитных свойств материала. Испытания образцов включали определение воспламеняемости, времени самостоятельного горения, длины поврежденной зоны и коэффициента дымообразования.

Полученные результаты показали, что обработанные материалы не воспламеняются и происходит сокращение длины поврежденного участка по сравнению с необработанной тканью – с 90 мм до 10...20 мм. Среднее время горения обработанных тканей составило 77,63 секунды, что свидетельствует о формировании на поверхности материала термостойкого защитного слоя. Коэффициент дымообразования обработанных образцов находился в диапазоне 106,4...290,6 м³/кг, что соответствует категории материалов с умеренной дымообразующей способностью. Результаты исследования подтверждают перспективность применения модифицированных тканей в производстве специальной защитной одежды и других изделий, к которым предъявляются повышенные требования пожарной безопасности. Полученные данные также могут быть использованы при разработке новых огнезащитных технологий и совершенствовании стандартов пожарной безопасности для текстильных материалов.

The aim of this study is to investigate the special properties of cellulose-containing textile materials modified with fire-retardant compositions, as well as to evaluate their fire resistance and smoke generation characteristics. The study employed methods of impregnating fabrics with aqueous solutions of fire retardants, followed by drying, conditioning, and testing in accordance with GOST R 50810–95, GOST R 53294–2009, and GOST 12.1.044–89. The research objects were cotton fabrics containing up to 98% cellulose, commonly used in the production of protective clothing. Fire-retardant compositions were prepared based on vermiculite, orthophosphoric acid, aqueous ammonia, and modifying additives that enhance the fire-protective properties of the material.

Sample tests included determination of flammability, self-sustained burning time, length of damaged area, and smoke generation coefficient. The results showed that treated fabrics did not ignite and exhibited a significant reduction in the length of the damaged area, from 90 mm in untreated fabrics to 10–20 mm in modified samples. The average combustion time of treated fabrics was 77.63 seconds, indicating the formation of a heat-resistant protective layer on the material surface. The smoke generation coefficient of treated samples ranged from 106.4 to 290.6 m³/kg, corresponding to a moderate smoke generation level.

The results confirm the potential application of modified fabrics in the production of protective clothing and other products requiring enhanced fire safety. The data obtained can also be used in the development of new fire protection technologies and the improvement of fire safety standards for textile materials.

Ключевые слова: целлюлозный материал, антипирен, композиция, модификация, горение, дымообразование, пропитка.

Keywords: cellulose material, fire retardant, composition, modification, combustion, smoke formation, impregnation.

Введение

В предыдущих исследованиях показано, что обработанная антипиренами спецодежда относится к важным элементам индивидуальной защиты как в бытовых условиях, так и на производстве. Та-

кая одежда предназначена для защиты работников от неблагоприятных механических и термических воздействий, обеспечивает нормальную терморегуляцию, свободу движений, удобство ношения и легкость очистки от загрязнений. Для защиты

тела человека от высоких температур и ожогов применяются трудновоспламеняющиеся плотные ткани с гладкой поверхностью [1...4].

Установлено, что для снижения горючести материалов используются различные группы замедлителей горения. Особое место занимают вспучивающиеся (интумесцентные) антипирены, обладающие высокой эффективностью благодаря способности образовывать теплозащитный пенококс, препятствующий нагреванию и дальнейшему разрушению материала. Использование таких композиций позволяет формировать тонкие огнезащитные покрытия, которые могут наноситься механизированным способом на разные поверхности. Преимуществом интумесцентных замедлителей горения является то, что их внешний вид близок к обычным лакокрасочным материалам, это позволяет применять их как защитно-декоративные покрытия. При нагревании такие покрытия вспучиваются в 2...3 раза, образуя прочный теплоизолирующий слой кокса, который эффективно защищает основу от пламени и снижает теплопередачу.

Следует отметить, что, несмотря на эффективность, интумесцентные покрытия до настоящего времени недостаточно изучены и применяются ограниченно – преимущественно в строительной отрасли, где используются для повышения огнестойкости металлоконструкций, деревянных элементов, кабельных линий, кровельных материалов и др. [5...7].

Существующие целлюлозные текстильные материалы, подвергнутые стандартной огнестойкой обработке, часто характеризуются повышенной жесткостью и сниженной эластичностью, что ограничивает их использование при изготовлении спецодежды для сотрудников пожарно-спасательных служб. В связи с этим актуальной задачей является разработка антипиреновой композиции, обеспечивающей высокую огнестойкость без ухудшения эксплуатационных характеристик целлюлозного текстиля [8...16].

В данной работе предлагается метод модификации текстильных материалов с

использованием антипиреновых композиций на основе вермикулита, растворенного ортофосфорной кислотой и нейтрализованного основаниями. Приведены результаты анализа огнестойкости и дымообразования обработанных образцов [17...22].

Материалы и методы исследования

Образцы огнезащитных целлюлозных материалов получали путем пропитки водным раствором антипиреновых композиций, приготовленным с различным содержанием вермикулита, с последующим отжимом до 85...100 % привеса и сушкой. В качестве объектов исследования использовали ткани на основе хлопчатобумажного полотна плотностью 160...180 г/м², содержащие до 98 % целлюлозы. Материал был выбран благодаря его широкому применению при изготовлении спецодежды и высокой восприимчивости к химической модификации. Перед обработкой образцы подвергались стандартной влажно-тепловой обработке и кондиционированию при температуре (20 ± 2) °С и относительной влажности (65 ± 5) %.

Для обработки применялись антипиреновые композиции, включающие вермикулит, ортофосфорную кислоту, водный аммиак, а также модифицирующие добавки, содержащие соединения кремния и магния. Массовое соотношение компонентов в композиции составляло, %: вермикулит – 15...25; ортофосфорная кислота – 30...35; водный аммиак – 20...25; добавки, содержащие кремний и магний, – 10...15; вода – до 100. Приготовленные композиции имели рН 6,5...7,0.

Нанесение антипиреновой композиции осуществлялось методом пропитки с последующим отжимом до 85...100 % от массы сухой ткани, что обеспечивало содержание антипирена в материале на уровне 120...150 г/м². После пропитки образцы сушили при температуре (105 ± 2) °С до постоянной массы.

Воспламеняемость и стойкость к горению определяли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50810-95 "Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация" и ГОСТ

Р 53294-2009 "Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость". В ходе испытаний оценивали способность тканей сопротивляться воспламенению и устойчивому горению, определяли время горения и длину поврежденного участка после воздействия пламени. Коэффициент дымообразования определяли по ГОСТ 12.1.044-89 "Пожаровзрывоопасность веществ и материалов" на приборе для оцен-

ки оптической плотности дыма. По полученным данным рассчитывали значение D_m по стандартной формуле, учитывающей объем камеры, длину светового пути и потерю массы образца.

В ходе эксперимента оценивали необработанные образцы и образцы, обработанные антипиреновыми композициями различной концентрации.

Результаты и их обсуждение

Значения показателей по ГОСТ Р 50810-95 представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№	Образец	Воспламеняемость	Время горения, с	Время тления, с	Длина поврежденной зоны, мм	Класс огнестойкости
1	Ткань без антипирена	Да	12	18	90	T3
2	Ткань + 5% антипирен	Нет	–	5	20	T1
3	Ткань + 10% антипирен	Нет	–	2	10	T1

Как видно из табл. 1, обработка тканей антипиренами значительно повышает огнестойкость: образцы с 5% и 10% антипиренов не воспламеняются, длина поврежденной зоны сокращается с 90 мм до 20 мм и 10 мм соответственно, а класс огнестойкости повышается до T1.

Т а б л и ц а 2

№	Образец	Время горения, с	Время тления, с	Примечание
1	Ткань без антипирена	12	18	–
2	Ткань + 5% антипирен	–	5	Пламя не распространяется
3	Ткань + 10% антипирен	–	2	Пламя не распространяется

Дополнительно оценка по ГОСТ Р 53294-2009 показала снижение времени

тления и полное предотвращение распространения пламени на обработанных образцах (табл. 2). Это подтверждает высокую эффективность введения антипиренов для текстильных материалов на основе целлюлозы.

Таким образом, использование антипиренов существенно повышает стойкость текстильных материалов к воспламенению и тлению, что делает их более безопасными для практического применения. Полученные данные позволяют рекомендовать обработку целлюлозосодержащих тканей антипиренами для повышения пожарной безопасности изделий.

Далее выполнялось исследование дымообразования по ГОСТ 12.1.044-89 (табл. 3) для образцов, обработанных антипиреновой композицией. Опыты проводились на образцах размером 40 × 40 × 1 мм при напряжении $U = 200$ В.

Т а б л и ц а 3

Опыт	Номерной порядок образца	Масса образца m , г		Пропускание света, %		Продолжительность дыма, мин	Коэффициент дымообразования каждого образца, D_m , (m^2/kg)
		до опыта	после опыта	исходная T_0	итоговая T_{min}		
№ 1а–обр.	1(1 ¹)	1,265	1,078	3,4	2,3	22	203,5
	1(2 ¹)	1,272	1,094	3,3	2,2	24	216,02
№ 1б–обр.	1(1 ¹)	1,066	0,904	3,7	2,6	23	227,4
	1(2 ¹)	1,052	0,894	4,3	3,0	24	231,5
№ 1д–обр.	1(1 ¹)	1,093	1,011	3,5	3,0	24	106,4
	1(2 ¹)	1,015	0,862	3,6	3,1	22	113,4

№ 2а– обр.	2(1 ¹)	1,392	1,172	3,3	1,9	26	278,9
	2(2 ¹)	1,458	1,202	3,4	1,8	25	290,6
№ 2б– обр.	2(1 ¹)	1,451	1,193	4,3	2,6	22	237,9
	2(2 ¹)	1,383	1,151	4,4	2,7	23	244,9
№ 2д– обр.	2(1 ¹)	1,319	1,165	4,4	2,9	23	211,2
	2(2 ¹)	1,253	1,100	4,5	2,9	21	217,0

После проведения серии опытов был рассчитан коэффициент дымообразования (D_m) по следующей формуле:

$$D_m = \frac{V}{l \Delta m} \ln \frac{I_0}{I_{min}}, \text{ [м}^2/\text{кг}], \quad (1)$$

где V – внутренний объем прибора для опыта, 0,512 м³; l – длина светового пути, 0,8 м; Δm – разница массы исходного и последующего образца, кг; I_0 , I_{min} – относительное освещение измерительной среды без дыма (100%) и с дымом.

При исследовании образцов текстильного материала, обработанных антипиреновыми композициями, содержащими фосфор, кремний, магний и азот, среднее значение коэффициента дымообразования составило:

$$D_{ср1а} \approx 210 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$D_{ср1б} \approx 229 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$D_{ср1д} \approx 110 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$D_{ср2а} \approx 286 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$D_{ср2б} \approx 240 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$D_{ср2д} \approx 215 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Антипиреновые композиции на основе фосфора, кремния, магния и азота относятся к категории с умеренной дымообразующей способностью. Все опыты проводились в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 "Пожаровзрывоопасность веществ и материалов" и ГРП 2.01.02-04 "Пожаробезопасность зданий и сооружений".

ВЫВОДЫ

Обработка целлюлозных текстильных материалов антипиреновыми композициями на основе вермикулита с фосфором, кремнием, магнием и азотом существенно повышает их огнестойкость: обработанные образцы не воспламеняются, длина поврежденной зоны сокращается с 90 мм до 10...20 мм, а класс огнезащищенности до-

стигает Т1. Среднее время горения составляет 77,63 с, а коэффициент дымообразования находится в пределах 106,4...290,6 м²/кг, что позволяет отнести материалы к категории с умеренной дымообразующей способностью. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода пропитки для повышения пожарной безопасности тканей без ухудшения их эксплуатационных свойств, что делает их пригодными для использования в спецодежде и других текстильных изделиях с повышенными требованиями к огнестойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фазуллина Р.Н. Разработка огнестойких текстильных материалов, модифицированных низкотемпературной плазмой пониженного давления и вспучивающим антипиреном: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2015. 169 с.
2. Фазуллина Р.Н., Красина И.В. Разработка методики синтеза вспучивающегося антипирена для придания огнестойкости текстильным материалам // Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии: образование-наука-производство. Казань, 2016. С. 219...227.
3. Баратов А.Н., Константинова Н.Н., Молчадский И.С. Пожарная опасность текстильных материалов. М., 2006. 273 с.
4. Сабирзянова Р.Н. Исследование влияния вспучивающих антипиренов на повышение огнестойкости текстильных материалов // Вестник Казанского национального исследовательского технологического университета. 2014. Т.17, №3. С. 53...54.
5. Wen O.Y. et al. Fire-resistant and flame-retardant surface finishing of polymers and textiles: A state-of-the-art review // Progress in Organic Coatings. 2023. Т. 175. Р. 107330.
6. Дудеров Н.Г., Константинова Н.И., Молчадский О.И., Болодьян Г.И. Оценка качества огнезащитной обработки тканей // Пожарная безопасность. 2003. №4. С. 103...106.
7. Абдулин И.А., Валиева З.З., Валеев Н.Х. Разработка огнезащитного состава для текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №10. С. 534...537.

8. Png Z.M. et al. Strategies to reduce the flammability of organic phase change materials: A review // *Solar Energy*. 2022. Т. 231. P. 115...128.

9. Ozer M.S., Gaan S. Recent developments in phosphorus based flame retardant coatings for textiles: Synthesis, applications and performance // *Progress in Organic Coatings*. 2022. V. 171.

10. Ammayarran L., Nayak L.K., Ray D.P. etc. Functional finishing of jute textiles—an overview in India // *Journal of Natural Fibers*. 2013. №4. P. 390...413.

11. Sharma D. et al. Bio-based polyamide nanocomposites of nanoclay, carbon nanotubes and graphene: a review // *Iranian Polymer Journal*. 2023. P. 1...18.

12. Зубкова Н.С. Высокоэффективный отечественный замедлитель горения для придания огнезащитных свойств волокнистым текстильным материалам // *Химические волокна*. 2000. №6. С. 38...40.

13. Qi P. et al. Intumescent flame retardant finishing for polypropylene nonwoven fabric // *Journal of Industrial Textiles*. 2022. №3. P. 5186...5201.

14. Сабирзянова Р.Н., Красина И.В. Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. №15–17. С. 56...57.

15. Zhao S. et al. Molecular design of reactive flame retardant for preparing biobased flame retardant polyamide 6 // *Polymer Degradation and Stability*. 2023. Т. 207. P. 110212.

16. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // *Соровский образовательный журнал*. 1996. №9. С. 57...69.

17. Исмаилов Р.И., Тамбовцева Т.В., Аскарров М.А. Физико-механические свойства модифицированных диацетатных волокон поличетвертичной солью N,N-диметиламиноэтилметакрилата // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2002. №4–5(268). С. 85...87.

18. Ismailov R.I., Makhmatkulova Z.N., Askarov M.A., Negmatov S.S. Some properties of modified polyacrylonitrile fibres // *Fibres Chemistry*. Springer, New York, 2011. №6. P. 376...378.

19. Хасанов О.Х., Исмаилов Р.И. Модификация полиакрилонитрильных волокон мономерными солями на основе аминоклакрилатов с галоидсодержащими веществами // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. №1(391). С. 66...72.

20. Исмаилов Р.И., Эмиххамедов У.М., Хайдаров И.Н., Исмаилова Р.М. Технология получения и изучение свойств антипиренов на основе эписхлоргидрина с азотсодержащими соединениями для полиакрилонитрильных волокон // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2023. №3(404). С. 162...168.

21. Ismailov R.I., Khaidarov I.N., Lityaga A.V., Khaidarov F.A. Investigation of some properties of

materials impregnated with fire-resistant compositions // *IV International Conference MIP: Engineering-IV-2022: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering*. AIP Conference Proceedings, 2024. 3021(1), 070009.

22. Лityaga A.V. Повышение пожарной безопасности полимерных материалов на основе антипиренов, содержащих силикатные композиции: дис. PhD. Ташкент: Академия МЧС Республики Узбекистан, 2022. 80 с.

REFERENCES

1. Fazullina R.N. Development of fire-resistant textile materials modified with low-temperature low-pressure plasma and intumescent flame retardants: PhD thesis in Technical Sciences. Kazan, 2015. 169 p.

2. Fazullina R.N., Krasina I.V. Development of a method for synthesizing intumescent flame retardants for imparting fire resistance to textile materials // *Models of innovative development of the textile and light industry based on the integration of university science and industry: education–science–production*. Kazan, 2016. P. 219...227.

3. Baratov A.N., Konstantinova N.N., Molchadskiy I.S. Fire hazard of textile materials. Moscow, 2006. 273 p.

4. Sabirzyanova R.N. Study of the effect of intumescent flame retardants on the fire resistance of textile materials // *Bulletin of Kazan National Research Technological University*. 2014. Vol. 17, No. 3. P. 53...54.

5. Wen O.Y. et al. Fire-resistant and flame-retardant surface finishing of polymers and textiles: A state-of-the-art review // *Progress in Organic Coatings*. 2023. Vol. 175. P. 107330.

6. Duderov N.G., Konstantinova N.I., Molchadskiy O.I., Bolodyan G.I. Evaluation of the quality of fireproof treatment of fabrics // *Fire Safety*. Moscow, 2003. No.4. P. 103...106.

7. Abdulin I.A., Valieva Z.Z., Valeev N.Kh. Development of a fireproof composition for textile materials // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2010. No.10. P. 534...537.

8. Png Z.M. et al. Strategies to reduce the flammability of organic phase change materials: A review // *Solar Energy*. 2022. Vol. 231. P. 115...128.

9. Ozer M.S., Gaan S. Recent developments in phosphorus-based flame retardant coatings for textiles: Synthesis, applications and performance // *Progress in Organic Coatings*. 2022. Vol. 171.

10. Ammayarran L., Nayak L.K., Ray D.P., Das S., Roy A.K. Functional finishing of jute textiles—an overview in India // *Journal of Natural Fibers*. 2013. No.4. P. 390...413.

11. Sharma D., et al. Bio-based polyamide nanocomposites of nanoclay, carbon nanotubes and graphene: A review // *Iranian Polymer Journal*. 2023. P. 1...18.

12. Zubkova N.S. Highly efficient domestic flame retardant for imparting fire protection properties to

fibrous textile materials // Chemical Fibers. Moscow, 2000. No.6. P. 38...40.

13. *Qi P. et al.* Intumescent flame retardant finishing for polypropylene nonwoven fabric // Journal of Industrial Textiles. 2022. No.3. P. 5186...5201.

14. *Sabirzyanova R.N., Krasina I.V.* Modern trends in the production of fire-resistant textile materials // Bulletin of Kazan Technological University. 2012. No. 15–17. P. 56...57.

15. *Zhao S. et al.* Molecular design of reactive flame retardant for preparing biobased flame retardant polyamide 56 // Polymer Degradation and Stability. 2023. Vol. 207. P. 110212.

16. *Berlin A.A.* Combustion of polymers and low-flammability polymer materials // Soros Educational Journal. 1996. No. 9. P. 57...69.

17. *Ismailov R.I., Tambovtseva T.V., Askarov M.A.* Physico-mechanical properties of modified diacetate fibers with polyquaternary salt of N,N-dimethylaminoethylmethacrylate // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2002. No.4–5(268). P. 85...87.

18. *Ismailov R.I., Makhmatkulova Z.N., Askarov M.A., Negmatov S.S.* Some properties of modified polyacrylonitrile fibres // Fibres Chemistry. Springer, New York, 2011. No.6. P. 376...378.

19. *Khasanov O.Kh., Ismailov R.I.* Modification of polyacrylonitrile fibers monomeric salts based on aminoalkyl acrylates with halogen containing

substances // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 1(391). P. 66...72.

20. *Ismailov R.I., Eshmukhamedov U.M., Khaidarov I.N., Ismailova R.M.* Technology for obtaining and studying the properties of fire retarders based on epichlorhydrin with nitrogen-containing compounds for polyacrylonitrile fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3(404). P. 162...168.

21. *Ismailov R.I., Khaidarov I.N., Lityaga A.V., Khaidarov F.A.* Investigation of some properties of materials impregnated with fire-resistant compositions // IV International Conference MIP: Engineering-IV-2022: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering. AIP Conference Proceedings, 2024. 3021(1), 070009.

22. *Lityaga A.V.* Improving fire safety of polymer materials based on flame retardants containing silicate compositions: PhD thesis. Tashkent: Academy of EMERCOM of Uzbekistan, 2022. 80 p.

Рекомендована кафедрой общей химии Ташкентского государственного технического университета. Поступила 30.04.25.