

УДК 614.841.41

DOI 10.48612/ntp/5pzt-g54p-kdhn

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ И СМЕСОВЫХ ВОЛОКОН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ПРИ ГОРЕНИИ

О. Г. ЦИРКИНА¹, В. Г. СПИРИДОНОВА¹, С. А. СЫРБУ¹, А. Х. САЛИХОВА¹, А. Н. КЛУШИН^{1,2}

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² Главное управление МЧС России по Краснодарскому краю,
Российская Федерация, г. Краснодар

E-mail: ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru,
syrbue@yandex.ru, salina_77@mail.ru, gpn-obninsk@mail.ru

В статье приведены результаты научного анализа отечественных и зарубежных исследований в области пожарной опасности текстильных материалов. Отмечено, что и в России, и за рубежом при изучении данного вопроса используются методы, определяющие значение кислородного индекса. В работе рассматриваются особенности состава и структуры текстильных материалов, а также факторы, которые влияют на их термическую стабильность и устойчивость к воздействию пламени. Особое внимание уделяется взаимосвязи между скоростью тепловыделения различных волокнистых материалов и их способностью к воспламенению. В статье приводятся данные, характеризующие пожароопасные свойства полиэфирных и хлопко-полиэфирных тканей, предназначенных для обивки мягкой мебели, с вложением синтетической составляющей 70 % и более.

Ключевые слова: синтетические волокна, синтетические ткани, текстильные материалы, пожарная опасность, кислородный индекс, воспламеняемость, горение, воздействие высоких температур.

BEHAVIORAL CHARACTERISTICS OF SYNTHETIC AND BLENDED FIBERS UNDER HIGH TEMPERATURES AND DURING COMBUSTION

O. G. TSIRKINA¹, V. G. SPIRIDONOVA¹, S. A. SYRBU¹, A. Kh. SALIKHOVA¹, A. N. KLUSHIN^{1,2}

¹ 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

² The Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Krasnodar Territory,
Russian Federation, Krasnodar

E-mail: ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru,
syrbue@yandex.ru, salina_77@mail.ru, gpn-obninsk@mail.ru

This article presents the results of a scientific analysis of domestic and international research on the fire hazard of textile materials. The paper emphasizes that scientists in Russia and abroad are using methods that determine the oxygen index to study this problem. The study examines the composition and structure of textile materials, as well as factors that influence their thermal stability and flame resistance. Particular attention is paid to the relationship between the heat release rate of various fibrous materials and their flammability. The article describes experimental data characterizing the fire hazard properties of polyester and cotton-polyester fabrics intended for upholstery, with a synthetic content of 70% or more.

Keywords: synthetic fibers, synthetic fabrics, textile materials, fire hazard, oxygen index, flammability, combustion, exposure to high temperatures.

Исследования в области пожарной опасности текстильных материалов (далее – ТМ) активно проводятся как отечественными, так и зарубежными авторами.

Работы зарубежных авторов по оценке пожароопасных свойств текстильных материалов в большей степени связаны с необходимостью выбора компонентов огнезащитных сос-

тавов для обработки тканей и волокон. Испытания ТМ без огнезащитной обработки проводятся с целью получения контрольных данных исходного образца и отслеживания динамики снижения пожарной опасности тканей с различной огнезащитой.

Ученые Фенимор и Мартин доказали существование предела по концентрации кислорода в окружающей среде, обеспечивающего устойчивое горение. Они отметили, что для горения необходима минимальная концентрация кислорода, характеризующаяся показателем «кислородный индекс» (далее – КИ). Проведенный нами анализ литературных данных показал, что значительная доля исследований, проводимых отечественными и зарубежными учеными, связана с определением КИ как одной из характеристик пожароопасных свойств материала. Ранее отмечалось, что полимеры с КИ < 27 % считаются легкогорючими. При КИ < 20 % горение протекает быстро, при КИ = 20-26 % – медленно. Полимеры с КИ > 27 % при выносе их из пламени самозатухают и считаются трудногорючими.

Отличительной особенностью большинства синтетических волокон и тканей из них является способность переходить в высокоэластическое состояние с последующим плавлением, то есть материалы обладают термопластичностью. К таким материалам относятся наиболее часто используемые в различных областях полиамиды (ПА), полиэферы (ПЭ) и полиакрилонитрилы (ПАН). Для полиамидных тканей без основы значения КИ могут достигать

24 об. %, однако этот показатель снижается примерно до 21 об. %, когда текстиль имеет подложку в виде сетки из стекловолокна, которая предотвращает стекание расплавленного материала. Этот так называемый «эффект каркаса» наблюдается также в смесовых тканях на основе полиэстера и хлопка, где полимер плавится на нетермопластичном волокне, при этом обугливаясь и воспламеняясь, что делает смесь гораздо более огнеопасной, чем составляющие волокна по отдельности. Подобные эффекты наблюдаются в композитных тканях, содержащих термопластичные и нетермопластичные компоненты [1].

Группа ученых из Малайзии (Онг И Вэнь, Мохд Захирасри Мохд Тохир, Томас Чунг Шин Йиу и др.) в обзоре огнестойких и негорючих отделок для поверхностей из полимеров и текстиля отмечают, что указанные материалы часто рассматриваются как легковоспламеняемые. Горючесть определяется на основании предельного кислородного индекса (Limiting oxygen index LOI, %) и общего тепловыделения (Total heat release TRH, МДж/м²). Для синтетических текстильных полимеров значение предельного кислородного индекса близко к 21,0 %: полиамид – 21,5 %, полиэстер – 18,5 %. При этом выделяемая энергия на квадратный метр горящего материала у полиамида составляет 94,3 МДж/м² [2].

Результаты испытаний, проведенных исследователями Kanury A. M. и Venning M. A., сведены в табл. 1 [3, 4].

Таблица 1. Значения кислородного индекса для тканых материалов

Материал	Поверхностная плотность, г/м ²	Кислородный индекс (LOI), %
Волокно на основе акрилонитрила («Акрилан»)	220	18,2
Триацетилцеллюлоза («Арнель»)	220	18,4
Ацетилцеллюлоза*	220	18,6
Полипропилен*	220	18,6
Поливинил («Винилон»)	220	19,7
Вискоза	220	19,7
Хлопок суровый	220	20,1
Хлопок подготовленный	153	18,0
Нейлон*	220	20,1
Полиэстер	220	20,6
Шерсть (подвергнутая химической чистке)	240	25,2
Акриловое волокно («Дайнел»)	220	26,7
Арамидное волокно «(Номекс N-4274»)	190	28,2
Поливинилхлорид («Ровил 55»)	220	37,1

* – ткани прошиты хлопчатобумажной нитью

Воздействие тепла на ТМ приводит к возникновению сложных и часто взаимосвязанных физических и химических процессов. Для ряда текстильных волокон физико-химические процессы происходят в температурных диапазонах, которые показаны в табл. 2 [5]. Знание указанных тепловых характеристик необходимо для полной количественной оценки пожарной опасности текстильных материалов и понимания особенностей процесса горения текстиля.

Из анализа приведенных в таблице данных видно, что все волокна с величиной предельного КИ выше 21 % можно отнести к труднотлеющим (ТТ). Таким образом, метод определения КИ позволяет определить численное значение, которое описывает способность любой ткани поддерживать пламенное горение [4]. Авторами работы [6] также было показано, что с увеличением поверхностной плотности полиэфирной и нейлоновых тканей возрастает и значение КИ (табл. 3).

Таблица 2. Результаты термических исследований для тканей из термопластичных волокон

Ткань	T _g , °C (размягчение)	T _m , °C (плавление)	T _p , °C (пиролиз)	T _c , °C (горение)	LOI, %
Триацетат	172	290	305	540	18,4
Нейлон 6	50	215	431	450	20-21,5
Нейлон 6.6	50	265	403	530	20-21,5
Полиэстер	80-90	255	420-447	480	20-21
Акрил	100	> 220	290	> 250	18,2
Полипропилен	-20	165	469	550	18,6
Модакрил	< 80	> 240	273	690	29-30
ПВХ (поливинилхлорид)	< 80	> 180	> 180	450	37-39
ПВДХ (поливинилдихлорид)	-17	180-210	> 220	532	60
ПТФЭ (фторволокно)	126	≥ 327	400	560	95
Оксидированный акрил	-	-	≥ 640	-	55
Номекс	275	375	410	> 500	28,5-30
Кевлар	340	560	> 590	> 550	29
ПБИ (полибензимидазольное волокно)	> 400	-	≥ 500	> 500	40-42

Таблица 3. Влияние поверхностной плотности тканей из синтетических волокон на величину КИ

Вид ткани	Поверхностная плотность, г/м ²	КИ, %
Полиэфирная	102	18,7
	204	19,9
	305	20,9
Нейлон	220	20,1
	311	21,2
	501	23,5

В своих научных работах исследователи Jeler S., Kresevic B. и Golob V. изучили значения КИ для большого числа тканей, изготовленных из акрила, полиэстера, полиамида, смеси полиэстера и хлопка (50 : 50) и смеси полиэстера и шерсти (55 : 45) различной поверхностной плотности и переплетения (полотняного и саржевого). Их результаты, представленные в табл. 4, показали, что для исследованных

тканей величина КИ возрастает с увеличением поверхностной плотности, объемной плотности и уменьшением пористости. Однако, единых тенденций для разных типов волокон и тканевых структур выявлено не было из-за большого влияния рода волокон на величину КИ. Для установления четких зависимостей требуется накопление большего количества эмпирических данных [7].

Таблица 4. Влияние физико-химических параметров текстильных материалов на величину кислородного индекса

Волокно	Переплетение	Поверхностная плотность, г/м ²	Объемная плотность, г/см ³	Пористость, %	Кислородный индекс, %	
					основа	уток
Акрил	полотняное	180	0,18	84,6	19,9	19,8
	полотняное	230	0,18	84,6	20,0	20,0
	саржевое	230	0,19	83,8	20,4	20,4
	полотняное	280	0,26	77,7	20,4	20,3
	саржевое	280	0,26	77,7	20,8	20,8
	саржевое	330	0,27	76,9	20,8	20,9
Полиэстер + хлопок	полотняное	60	0,22	84,8	16,9	16,9
	саржевое	60	0,18	87,6	17,0	17,2
	полотняное	75	0,26	82,1	17,2	17,2
	саржевое	75	0,21	85,5	17,2	17,4
	полотняное	110	0,33	77,2	17,2	17,2
	саржевое	110	0,31	78,6	17,4	17,1
	полотняное	115	0,36	75,2	19,5	19,4
	саржевое	115	0,32	77,9	19,4	19,4
Полиэстер + шерсть	полотняное	100	0,13	90,4	22,0	21,6
	полотняное	200	0,27	80,0	21,9	22,1
	полотняное	270	0,40	70,4	23,0	23,0
	саржевое	250	0,25	81,5	24,0	22,5
	саржевое	300	0,35	74,1	23,7	23,4
	саржевое	350	0,43	68,1	23,5	22,5
Полиэстер	полотняное	50	0,10	92,6	22,6	22,6
	саржевое	50	0,10	92,8	23,5	23,5
	полотняное	100	0,20	85,5	24,1	24,2
	саржевое	100	0,20	85,5	24,0	23,8
	полотняное	150	0,21	84,9	23,5	23,4
	саржевое	150	0,23	83,3	24,2	23,4
Полиамид	полотняное	22	0,22	80,7	30,9	31,0
	саржевое	22	0,20	82,5	27,0	27,0
	полотняное	60	0,60	47,4	30,0	30,2
	саржевое	60	0,46	59,6	29,1	29,1
	полотняное	80	0,67	41,2	30,3	30,5
	саржевое	80	0,53	53,5	29,1	29,1
	саржевое	110	0,42	63,2	30,0	30,0

На значение КИ оказывает влияние и температура окружающей среды. В работе [8] исследовано поведение текстильных материалов и их смесей при повышенных температурах (табл. 5). Авторы отмечают, что ткани, в которых натуральные или регенерированные

целлюлозные волокна являются основными компонентами, демонстрируют почти линейную зависимость между снижением кислородного индекса и повышением температуры. Для синтетических волокон подобной зависимости не прослеживается [9].

Таблица 5. Влияние температуры на значение кислородного индекса для натуральных, синтетических и смесовых тканей

Ткань	Состав ткани	Кислородный индекс, %			
		20 °С	100 °С	150 °С	200 °С
Вискоза	100	17,8	15,5	14,0	12,7
Триацетатцеллюлоза	100	18,6	15,0	12,8	11,0
Полиэстер / хлопок	53 : 47	15,6	14,7	13,2	12,0
Полиакриловое волокно / хлопок / полинозное волокно	51 : 25 : 24	18,7	16,3	14,5	13,1

Ткань	Состав ткани	Кислородный индекс, %			
		20 °С	100 °С	150 °С	200 °С
Вискоза / нейлон 6	60 : 40	18,0	16,7	15,0	13,5
Полиэстер / вискоза / шелк	48 : 43 : 9	17,0	15,8	14,0	11,9
Триацетатное волокно / нейлон 6	67 : 33	17,1	16,3	15,4	14,3
Полиэстеровая шерсть	55 : 45	20,1	19,8	18,1	17,6
Шерсть / нейлон 6	92 : 8	21,4	20,1	18,8	17,0
Шерсть / нейлон 6	84 : 16	22,5	20,3	18,5	17,0
Полиэстер	100	31,2	31,4	29,0	28,6
Нейлон 6	100	27,4	27,0	23,8	23,3
Нейлон 6.6 / нейлон 6	58 : 42	30,3	27,0	26,4	26,3
Полиакриловое волокно	100	17,1	16,8	14,4	13,4

Авторы работы [10] обращают внимание на то, что воспламенение в нижней части образца максимизирует конвективный предварительный нагрев несгоревшего материала, тем самым уменьшая концентрацию кислорода, необходимую для поддержания горения, и влияя на значение КИ. В работе [6] также отмечался эффект конвективного нагрева. Показано, что значения КИ, измеренные для полиэстера, смеси полиэстера с хлопком и с шерстью, полученные при горизонтальной ориентации образца, меньше тех, которые зарегистрированы при стандартном проведении испытания (табл. 6) [9].

Авторы работы [11] для ряда тканей ввели понятие «параметр затухания кислорода» (EOI). EOI определяется как доля кислорода в смеси кислород/азот, дающая нулевое время непрерывного горения образца. Способность образца к самозатуханию обозначена

параметром $[EOI]_0$, представляющим собой долю кислорода, при которой время горения образца равно нулю после воздействия на ткань источника зажигания в течение нулевого времени. В табл. 7 показаны сопоставленные значения $[EOI]_0$ в процентном выражении для огнезащищенных тканей и для тканей без обработки антипиреном с различной поверхностной плотностью, протестированных при 20 °С. Из анализа данных следует, что значения $[EOI]_0$ зависят от типа волокна и наличия огнезащитной обработки.

Скорость распространения пламени по поверхности образца текстильного материала зависит как от состава ткани и поверхностной плотности, так и от угла наклона. В табл. 8 представлены средние скорости распространения пламени для тканей под разными углами наклона [12].

Таблица 6. Влияние ориентации образца и/или точки воспламенения тканей на величину кислородного индекса для тканей из синтетических и смесовых волокон

Ткань	Ориентация образца	Условия зажигания	Кислородный индекс, %
Полиэстер	вертикальная	сверху вниз	20,0
	горизонтальная	горизонтально	18,0
Полиэстер / хлопок (50 : 50)	вертикальная	сверху вниз	17,6
	горизонтальная	горизонтально	17,2
Полиакриловое волокно	вертикальная	сверху вниз	18,2
	горизонтальная	горизонтально	18,2
Модакриловое волокно	вертикальная	сверху вниз	31,0
	вертикальная	снизу вверх	22,0–23,0

Таблица 7. Значения $[EOI]_0$ для различных тканей при температуре 20 °С

Ткань	Поверхностная плотность, г/м ²	Значения $[EOI]_0$, %				
		Количество слоев				
		1	2	3	4	5
Полиэстер	307,5	23,5	24,0	24,4	25,2	26,2
	687,5	26,6	28,4	30,2	31,8	33,0
Нейлон 6.6	172,5	22,0	23,0	23,7	24,1	24,7
	235	23,1	23,9	24,3	24,6	25,4

Примечание: нейлон 6.6 и полиэстер 307,5 г/м² – трикотажные изделия; полиэстер 687,5 г/м² имел двойное плетение.

Таблица 8. Скорость распространения пламени для тканей под разными углами наклона

Ткань	Скорость распространения пламени, мм/с					
	Угол наклона					
	90 °	60 °	45 °	30 °	15 °	0 °
Полиэстер / хлопок (55 : 45)	39	30	27	22	19	8
Полиэстер / хлопок (65 : 35)	37	27	24	21	13	9
Полиэстер*	-	-	-	-	-	-
Акриловое волокно	23	15	13	11	8	6

* Ткань не воспламенилась

Таким образом, наблюдается прямо пропорциональная зависимость скорости распространения пламени от величины угла наклона образца.

В ходе выполнения научно-исследовательских работ, посвященных исследованию пожарной опасности волокон и тканей, и проведения анализа научной литературы нами получены данные, характеризующие поведение синтетических волокон при горении (табл. 9).

Из анализа полученных данных следует, что синтетические волокна, являясь термопластичными, горят с плавлением, образуют капли расплава, которые могут являться

вторичным источником зажигания, после остывания образуют твердый спёк.

В силу специфики получения синтетических волокон путем синтеза из мономеров, выделяемых из нефти и газа, а также последующего формования (в основном из расплава волокнообразующего полимера) продавливанием через отверстия фильера, на заключительном этапе волокна подвергаются замасливаю специальным препаратами. Замасливатели представляют собой горючие жидкости, что дополнительно повышает пожарную опасность синтетических волокон и материалов из них.

Таблица 9. Поведение материалов из синтетических волокон при горении

Волокно		Поведения волокон			Запах	Остаток после горения
		Вблизи пламени	В пламени	После удаления из пламени		
Искусственные гидратцеллюлозные	Вискоза	Волокна не плавятся и не изменяют своей формы	Горят без плавления, горение интенсивное жёлтым пламенем с наличием светящейся искры	Продолжают гореть без плавления. После затухания волокна тлеют, распространяя интенсивный белый дымок	Запах жжёной бумаги	Легко рассыпающийся серый пепел
	Медно-аммиачное					
Искусственные ацетилцеллюлозные	Ацетатное	Частичное оплавление и небольшая усадка	Горят ярко жёлтым пламенем. Вне пламени гаснут.	Медленное горение с плавлением. Если пламя погасить, то волокно медленно тлеет с выделением струйки дыма	Слабый запах уксусной кислоты	Спекшийся темно бурый шарик, обладающий определенной твердостью и способный разминаться при надавливании
	Триацетатное					

Волокно		Поведения волокон			Запах	Остаток после горения
		Вблизи пламени	В пламени	После удаления из пламени		
Синтетические	Полиамидное	Происходит плавление и тепловая усадка в направлении от пламени	Загорается слабым голубовато-желтым пламенем с наличием белого дымка	Горит очень медленно и само затухает	Легкий запах сургуча	Темно-желтый твердый стеклообразный спёк
	Полиэфирное		Горит слабо желтоватым пламенем, выделяя черную копоть			
	Полиакрилонитрильное		Горят ярким желтым коптящим пламенем с вспышками	Продолжают гореть	Отсутствие специфического запаха	Темный наплыв неправильной формы, раздавливаемый пальцами

Помимо этого, необходимо отметить, что в продуктах термического разложения синтетики присутствуют канцерогенные вещества. Из литературных источников [13, 14] известно, что продуктами горения синтетических волокон, помимо кокса, оксидов углерода (в том числе угарного газа) и паров воды, являются следующие газообразные вещества:

- для полиэфира (температура воспламенения 420–450 °С) – формальдегид, бензол и другие ароматические соединения;
- для полиамида (температура воспламенения 460–500 °С) – цианистый водород, аммиак;
- для полиакрилонитрила (температура воспламенения 300–350 °С) – синильная кислота, оксиды азота;
- для поливинилхлоридных волокон (~ 500 °С) – диоксины и фураны.

Также при медленном тлении синтетических материалов, которые являются чистыми углеводородами (полиэтилен, полипропилен и полистирол), образуется плотный чёрный дым, содержащий канцерогенные полиароматические (ПАУ) и ароматические углеводороды и раздражающие вещества, например, акролеин.

Ткани из полиэфира и хлопка находят широкое применение благодаря отличной износостойкости и долговечности. Однако, из-за того, что они легко воспламеняются, могут являться источником пожара и способствовать его распространению, возникает необходимость в исследованиях в области огнезащитной отделки. К настоящему времени известно, что огнезащитная отделка смесовых материалов (например, хлопкополиэфирных тканей) нам-

ного сложнее, чем огнезащитная отделка любого из компонентов [1].

В качестве основных причин можно выделить как различия в природе самих волокон, так и разницу в поведении при горении:

1. На этапе придания ткани огнезащитных свойств необходимо учитывать различное поведение целлюлозной и синтетической составляющей в водных растворах: целлюлоза гидрофильна и хорошо впитывает раствор антипирена; полиэфир гидрофобен, не смачивается, не набухает, не поглощает растворенный антипирен.

2. При нагревании ткани из смеси полиэфира и хлопка полиэфирная составляющая при определенной температуре начинает плавиться. Расплавленный компонент покрывает поверхность целлюлозной составляющей. Кокс, образующийся при пиролизе, дает каркас, предотвращающий усадку ткани, за счет чего увеличивается площадь возможного горения. Таким образом, расплав полиэфира превращается в дополнительное «топливо» в зоне пожара.

3. В процессе горения антипирен перемещается между двумя компонентами – полиэфиром и хлопком, которые при повышенной температуре и горении ведут себя по-разному.

4. Взаимная термическая индукция полиэфирных и хлопковых полимеров или продуктов их пиролиза ускоряет образование продуктов горения. Следовательно, скорость воспламенения смесовых тканей намного выше, чем у чистых полиэфирных или целлюлозных.

5. Поскольку хлопок в процессе горения не плавится и не усаживается, при сжигании

изделий из смеси волокон хлопковое волокно карбонизируется и затрудняет образование капель расплава синтетической составляющей, что может рассматриваться как положительный эффект, предотвращающий образование вторичного источника загорания.

Наличие в помещениях горючей нагрузки из текстильных материалов, используемых для декора интерьера, способствует распространению пожара и проявлению опасных факторов пожара. Для понимания картины развития пожара в помещениях необходимо знать пожароопасные характеристики текстильных материалов, такие, как воспламеняемость, КИ, температура самовоспламенения [15, 16].

Вывод

Аналитический обзор научных публикаций отечественных и зарубежных авторов показал, что исследованиям процессов горения

синтетических материалов уделяется значительное внимание. Выявленные закономерности позволяют спрогнозировать поведение текстильных материалов при огневом воздействии, а также разработать методы снижения их пожарной опасности. С научной точки зрения важно отметить, что между основными параметрами, характеризующими пожарную опасность текстильных материалов, такими как значения кислородного индекса, результаты испытаний на воспламеняемость и числовые данные термического анализа, существует высокая степень корреляции в пределах групп тканей с одинаковой природой и химическим составом. Результаты проведенных экспериментов по определению показателей пожарной опасности синтетических волокон и тканей, изучения закономерностей поведения при воздействии пламени обобщены и систематизированы в формате электронной базы данных [17].

Список литературы

1. Mei Wang Chemical [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.mflam.com/info/what-is-polyester-cotton-flame-retardant-fabric-61751594.html> (дата обращения 24.04.2026).
2. Price D., Horrocks A. R. Combustion processes of textile fibres. Editor(s): F. Selcen Kilinc. Woodhead Publishing Series in Textiles, Handbook of Fire Resistant Textiles. Woodhead Publishing, 2013, pp. 3–25.
3. Kanury A. M. Fire Safety of Combustible Materials. Proceedings of the International Symposium. Edinburgh: University of Edinburgh, 1975. p. 187.
4. Benning M. A. Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygenenriched Atmospheres. ASTM publication STP 812 / edited by B. L. Werley. American Society for Testing and Materials, 1983. p. 68.
5. Arcand C. G., Vullo W. J. The bottom ignition oxygen index test. Text Res J., 1972, vol. 42, pp. 328–330.
6. Miller B, Meiser CH. Steady state burning of textiles in flowing O₂N₂ mixtures. Text Chem Color, 1970, vol. 2, pp. 35–38.
7. Jeler S., Kresevic B., Golob V. Effect of apparent fabric density and pore volume on LOI (limiting oxygen index). Textilveredlung, 1985, 20, pp. 158–160.
8. Jeler S., Ceric B. Influence of Temperature of Analysis on LOI Values (Limiting Oxygen Index). Textilveredlung, 1980, vol. 15 (7), pp. 251–253.
9. Horrocks A. R., Tune M., Cegiela L. The Burning Behavior of Textiles and its Assessment by Oxygen-index Methods. Textile Progress, 2009, vol. 18, issue 1-3, pp. 1–186.
10. Fenimore C. P., Martin F. J. Proceedings of the Fourth Materials Research Symposium. MBS Special Publication No. 357. USA: National Bureau of Standards, 1970.
11. Horrocks A. R., Ugras M. The persistence of burning of textiles in different oxygen environments and the determination of the extinction oxygen index. Fire Mater, 1983, vol. 7, issue 3, pp. 111–118.
12. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics / Editor(s): Jinlian Hu. Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing. Woodhead Publishing, 2008. Pp. 339–388.
13. Зубкова Н. С., Антонов Ю. С. Снижение горючести текстильных материалов – решение экологических и социально-экономических проблем // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2002. Том XLVI. № 1. С. 96–102.
14. Carroll W.F. Is PVC in house fires the great unknown source of dioxin? Fire and Mater, 1996, vol. 20, issue 4, pp. 161–166.
15. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка воспламеняемости современных текстильных материалов декоративного назначения // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 67–71.
16. Термическая стабильность и огнестойкость волокнистых материалов: научный анализ отечественного и зарубежного опыта исследований / А. Н. Клушин, О. Г. Циркина, В. Г. Спиридонова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты 2025. № 2 (55). С. 48–57.
17. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624963 РФ.

База данных по пожарной опасности текстильных материалов в целях судебной пожарно-технической экспертизы / О. Г. Циркина, С. А. Сырбу, В. Г. Спиридонова [и др.]. № 2025624754; заявл. 30.10.2025; опубл. 07.11.2025, Бюл. № 11. 1 с.

References

1. Mei Wang Chemical [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.mflam.com/info/what-is-polyester-cotton-flame-retardant-fabric-61751594.html> (дата обращения 24.04.2026)
2. Price D., Horrocks A. R. Combustion processes of textile fibres. Editor(s): F. Selcen Kilinc. Woodhead Publishing Series in Textiles, Handbook of Fire Resistant Textiles. Woodhead Publishing, 2013, pp. 3–25.
3. Kanury A. M. Fire Safety of Combustible Materials. Proceedings of the International Symposium. Edinburgh: University of Edinburgh, 1975. p. 187
4. Benning M. A. Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygenenriched Atmospheres. ASTM publication STP 812 / edited by B. L. Werley. American Society for Testing and Materials, 1983. p. 68.
5. Arcand C. G., Vullo W. J. The bottom ignition oxygen index test. Text Res J., 1972, vol. 42, pp. 328-330.
6. Miller B, Meiser CH. Steady state burning of textiles in flowing O₂N₂ mixtures. Text Chem Color, 1970, vol. 2, pp. 35–38.
7. Jeler S., Kresevic B., Golob V. Effect of apparent fabric density and pore volume on LOI (limiting oxygen index). Textilveredlung, 1985, 20, pp. 158–160.
8. Jeler S., Ceric B. Influence of Temperature of Analysis on LOI Values (Limiting Oxygen Index). Textilveredlung, 1980, vol. 15 (7), pp. 251–253.
9. Horrocks A. R., Tune M., Cegiela L. The Burning Behavior of Textiles and its Assessment by Oxygen-index Methods. Textile Progress, 2009, vol. 18, issue 1-3, pp. 1–186.
10. Fenimore C. P., Martin F. J. Proceedings of the Fourth Materials Research Symposium. MBS Special Publication No. 357. USA: National Bureau of Standards, 1970.
11. Horrocks A. R., Ugras M. The persistence of burning of textiles in different oxygen environments and the determination of the extinction oxygen index. Fire Mater, 1983, vol. 7, issue 3, pp. 111–118.
12. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics / Editor(s): Jinlian Hu. Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing. Woodhead Publishing, 2008. Pp. 339–388.
13. Zubkova N. S., Antonov Yu. S. Snizhenie goryu-chesti tekstil'nyh materialov – reshenie eko-logicheskikh i social'no-ekonomicheskikh problem [Reducing the flammability of textile materials – a solution to environmental and socioeconomic problems]. *Rossijskij himicheskiy zhurnal (Zh. Ros. him. ob-va im. D. I. Mendeleeva)*, 2002, vol. XLVI, issue 1, pp. 96–102.
14. Carroll W.F. Is PVC in house fires the great unknown source of dioxin? Fire and Mater, 1996, vol. 20, issue 4, pp. 161–166.
15. Storonkina O. E., Mochalova T. A. Ocenka vosplamyaemosti sovremennyh tekstil'nyh materialov dekorativnogo naznacheniya [Assessment of the flammability of modern decorative textile materials]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 3 (44), pp. 67-71.
16. Termicheskaya stabil'nost' i ognestojkost' voloknistyh materialov: nauchnyj analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta issledovanij [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 [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 2 (55), pp. 48-57.
17. O. G. Tsirkina, S. A. Syrbu, V. G. Spiridonova [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh 2025624963 Rossiyskaya Federatsiya. Baza dannyh po pozharnej opasnosti tekstil'nyh materialov v celyah sudebnoj pozharno-tekhnicheskoj ekspertizy [Database on the fire hazard of textile materials for the purposes of forensic fire-technical examination], № 2025624754, byulleten № 11, 1 p.

Циркина Ольга Германовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор, доцент
E-mail: 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, professor, associate 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

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, профессор
E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana Alexandrovna

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 chemistry sciences, professor
E-mail: syrbue@yandex.ru

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

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, associate professor
E-mail: salina_77@mail.ru

Клушин Алексей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
соискатель ученой степени
Главное управление МЧС России по Краснодарскому краю,
Российская Федерация, г. Краснодар
начальник
E-mail: 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

applicant for an academic degree

The Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Krasnodar Territory,

Russian Federation, Krasnodar

head of the Main Directorate

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru