УДК 66.091.2: 614.842
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_321

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ЛИКВИДАЦИИ ГОРЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕЖУРНЫМ КАРАУЛОМ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

DETERMINING THE LIMIT TIME FOR THE START OF FIRE BURNING ELIMINATION OF TEXTILE MATERIALS BY THE DUTY GUARD OF THE FIRE PROTECTION

В.Е. РУМЯНЦЕВА[1,2], А.В. ЕРМИЛОВ[2]

V.E. RUMYANTSEVA[1,2], A.V. ERMILOV

**([1]Ивановский государственный политехнический университет,
[2]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)**

**([1]Ivanovo State Polytechnical University,
[2]Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia)**

E-mail: varrym@gmail.com, skash_@mail.ru

Целью статьи является попытка детализации технологии ликвидации горения текстильных материалов. Работа по экспериментальному определению предельного времени начала ликвидации горения текстильных материалов первым дежурным караулом пожарной охраны проводилась в три этапа. На первом этапе исследована линейная скорость распространения горения по поверхности текстильных материалов: легкого хлопка, плотного хлопка, смеси полиэстера и хлопка, акрилового волокна и шерсти. На втором этапе исследованы тактические возможности дежурного караула, а именно какую площадь пожара он может ликвидировать имеющимися силами и средствами. На третьем этапе определено предельное время начала ликвидации горения текстильных материалов при углах наклона 0 и 15 град. Результаты экспериментальной работы показали, что предельное время ликвидации горения текстильных материалов зависит от оперативной обстановки, тактических возможностей дежурного караула, а также угла наклона горящей поверхности к вертикали.

The aim of the article is to detail the technology of extinguishing the combustion of textile materials. The experimental work was carried out in three stages. At the first stage, the linear velocity of fire spread across the surface of textile materials was studied: lightweight cotton, heavy cotton, a polyester-cotton blend, acrylic fiber, and wool. At the second stage, the tactical capabilities of the duty guard were studied, the main characteristic of which is the area of the fire that it can extinguish with the

available forces and means. At the third stage, the maximum time for the start of extinguishing the combustion of textile materials at inclination angles of 0 and 15 degrees was determined. The results of the experimental work showed that the maximum time for extinguishing the combustion of textile materials depends on the operational situation, tactical capabilities of the duty guard, as well as the angle of inclination of the burning surface to the vertical.

Ключевые слова: текстильные материалы, развитие пожара, ликвидация горения, дежурный караул, площадь пожара, расход воды, линейная скорость, пожарный ствол.

Keywords: textile materials, fire development, fire suppression, duty guard, fire area, water consumption, linear velocity, fire nozzle.

Введение

Текстильная промышленность представляет собой важную сферу экономического развития Российской Федерации. По итогам 2023 года емкость российского рынка текстильной промышленности составила 733 млрд руб., из которых на долю оборудования для текстильной промышленности приходилось около 16 млрд руб.

Несмотря на то, что производство текстильных материалов по итогам 2023 года имеет незначительную динамику развития, объем произведенной шерстяной пряжи составил 2029,3 т, шерсти и волос животных тонких или грубых, подвергнутых кардо- или гребнечесанию, – 2973,8 т, волокон льна, подготовленных для прядения, – 14151 т, льняной пряжи – 883 т, хлопчатобумажной пряжи – 22132 т, пряжи из химических комплексных нитей 7278,1 т. Наибольший показатель принадлежит химическим волокнам – 181818 т, тканям из стекловолокна – 49263 т и полотнам трикотажным или вязаным – 44199 т.

Среди тканей в 2023 году наибольший показатель производственной мощности принадлежит нетканым материалам (6092100 тыс. кв. м), хлопчатобумажным тканям (855789 тыс. кв. м) и тканям из химических нитей (652136 тыс. кв. м).

В трудах [1, 2] указывается, что большинство текстильных материалов, производимых в легкой промышленности, предрасположены к воспламеняемости и высокой скорости распространения пламени по их поверхности. Природа горения текстильных материалов раскрыта в работе [3], где подчеркивается, что одной из причин быстрого распространения горения на большие площади является пористость и сетчатая структура текстильных материалов. Такое строение способствует доступу окислителя в зону горения, что является следствием ускоренного пиролиза. Из-за этого пламя распространяется не только по поверхности, но и в объеме материала.

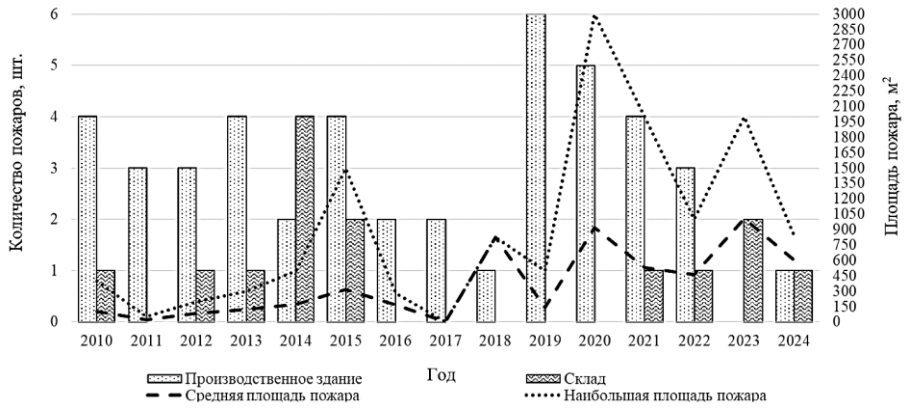

Рис. 1

Пожароопасность текстильных материалов подтверждается статистикой пожаров, произошедших в Российской Федерации (рис. 1 – динамика количества пожаров на текстильных предприятиях, а также средней и максимальной площади, на которую они распространялись) и мире.

Согласно статистическим данным в среднем в России в год происходит три пожара в производственных цехах текстильных предприятий, а также один пожар на складе сырья и готовой продукции. Средняя площадь пожара может достигать 1 тыс. кв. м. В России ярким примером является пожар в производственном здании склада хранения пуха Belpol («Бел-Поль»), распространившийся на площадь 2 тыс. кв. м (2023 год). В мировой практике пожаротушения также стоит вспомнить пожары на складе текстиля компании Rafco Valège в г. Париже (2023 год), который распространился на площадь 5 тыс. кв. м. Нередки случаи и массовой гибели людей. Так, в Народной Республике Бангладеш при пожаре на швейной фабрике погибли 120 человек и более 150 человек пострадали (2000 год).

Пожары, уничтожающие станки, оборудование, сырье и готовую продукцию, приводят к значительным материальным потерям и замедляют экономическое развитие государства. Данный аспект указывает на важность раскрытия вопросов, касающихся ликвидации горения первыми прибывшими на место вызова пожарно-спасательными подразделениями.

В пожарно-технической литературе описывается тактика ликвидации горения текстильных материалов, состоящая из двух этапов. На первом этапе ручными пожарными стволами ликвидируется горение на поверхности материала, что препятствует его дальнейшему распространению. На втором этапе идет трудоемкая деятельность пожарных по разборке горящих материалов в паковке (кипа, рулон и т. д.) и их насыщению водой для прекращения тления. Для ликвидации горения важен первый этап. В частности, на данном этапе первому руководителю тушения пожара важно знать количество ручных пожарных стволов, адекватное условию прекращения гомогенного горения на момент выхода ствольщиков на боевые позиции.

Вышеизложенное позволило поставить цель статьи: определить предельное время начала ликвидации горения текстильных материалов дежурным караулом пожарной охраны, прибывшим на место вызова.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в три этапа.

На первом этапе изучена динамика развития пожара текстильных материалов. В исследовании [4] подчеркивается, что практически невозможно пространственно описать зону горения на внутреннем пожаре твердых горючих веществ и материалов. Вследствие этого представление технологии процесса ликвидации горения сведено к условному выражению распространения пожара по плоскости. Таким образом, динамика развития пожара в большей степени определяется линейной скоростью распространения горения по поверхности твердых горючих материалов $V_л$ [5]. В частности, опираясь на ее значение, определяют возможную площадь пожара, с которой сталкиваются первые прибывшие на место вызова подразделения.

В [5] линейная скорость дифференцирована для помещений текстильного производства в диапазоне от 0,5 до 1 м/мин, при наличии на конструкциях и оборудовании пыли – от 1 до 2 м/мин, для волокнистых материалов во взрыхленном состоянии – от 7 до 8 м/мин; для складов льноволокна – от 3 до 5,6 м/мин, текстильных изделий – от 0,3 до 0,4 м/мин.

Наличие диапазона значений линейной скорости для объекта пожара и вещества обусловлено влиянием ряда факторов на процесс горения, таких как: вид пожарной нагрузки и ее разнородность, плотность пожарной нагрузки (волокна полиэфирные и хлопок в кипах на складе, ткань в рулоне в ткацком цеху, пряжа в клубках на станках или поддонах, пряжа в трепально-чесальном цеху и др.), расстояние между твердыми горючими веществами (сырье, готовая продукция, станки), количество пожарной нагрузки, наличие приточно-вытяжной вентиляции (в том числе световых фонарей, вентиляционных каналов и дверных прое-

мов) и др. Вследствие этого значение линейной скорости представляет собой существенную проблему для моделирования оперативной обстановки.

Однако в научной литературе встречаются исследования, которые позволяют приблизиться к детализации и пониманию технологии ликвидации горения текстильных материалов. В одной из таких работ [6] исследована средняя скорость распространения пламени по поверхности текстильных материалов при различных углах наклона. Исследование проводилось на легком хлопке, плотном хлопке, смеси полиэстера и хлопка (55 % / 45% и 65 % / 35%); акриловом волокне и шерсти. Скорость определялась в первые минуты развития горения и измерялась в мм/с. Данный факт позволяет сделать вывод, что представленные значения являются лишь половиной своего истинного значения при развившемся пожаре $0{,}5 \cdot V_л$ [5]. То есть после свободного горения в течение 10 мин приведенную скорость целесообразно принимать в два раза больше от экспериментального значения. Таким образом, исследование [6] легло в основу нашей экспериментальной работы (табл. 1 – линейная скорость распространения горения по поверхности текстильного материала, переведенная в м/мин).

Таблица 1

Ткань	Скорость распространения пламени $V_л$ (м/мин)					
	Угол наклона ткани					
	90 º	60 º	45 º	30 º	15 º	0 º
Легкий хлопок	6,84	4,8	4,44	3,6	2,16	0,72
Плотный хлопок	3,24	2,28	2,16	1,68	1,2	0,36
Полиэстер / хлопок (55 % / 45%)	4,68	3,6	3,24	2,64	2,28	0,96
Полиэстер / хлопок (65% / 35%)	4,44	3,24	2,88	2,52	1,56	1,08
Акриловое волокно	2,76	1,8	1,56	1,32	0,96	0,72
Шерсть[1]	2,76	1,68	1,44	1,2	0,96	0

[1] Пламя гаснет при удалении источника зажигания при горизонтальном расположении образцов.

Важен критический подход к исследованию динамики развития горения. Данный подход рассматривает наиболее сложный сценарий развития пожара при вводе первых ручных пожарных стволов на ликвидацию горения (время начала тушения $t_{нач}$) [7, 8]. Так, в исследовании [9] указывается, что наибольшая площадь пожара $S_п$ возможна при его круговом развитии. При этом существует ряд допущений: пожарная нагрузка равномерно размещена на полу ткацкого предприятия и однородна, скорость распространения горения по поверхности текстиля одинакова во всех направлениях [4]. Это позволило нам моделировать динамику развития пожара текстильного материала. Важно подчеркнуть, что в экспериментальной работе угроза людям от опасных факторов пожара не учитывалась. Для расчета площади пожара использована формула:

$$S_{пож} = \pi(V_л t_{нач})^2. \qquad (1)$$

На втором этапе экспериментальной работы нами исследованы тактические возможности дежурного караула пожарно-спасательной части, прибывшего первым на место вызова. Дежурный караул представляет собой основную тактическую единицу, состоящую минимум из двух отделений на основных пожарных автомобилях (автоцистернах и автонасосах) (Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444). Основной характеристикой, важной для дежурного караула, является размер площади пожара, на которой возможна ликвидация горения путем подачи огнетушащих веществ из ручных пожарных стволов $Q_{тр}$.

Для ликвидации горения в непригодной для дыхания среде дежурный караул способен создать два звена газодымозащитной службы со средствами тушения. В экспериментальной работе вид и расход ручных стволов принимался из пожарно-технической литературы [100]. Нормативная интенсивность подачи воды на ликвидацию горения $I_{тр}$ принималась равной 0,1 л/(м^2·с) [11].

Так как в специальной литературе площадь пожара может быть приравнена к площади тушения пожара (Свод правил СП 11.13130.2009), то для ее расчета использована формула:

$$S_{пож} = \frac{Q_{тр}}{I_{тр}}. \quad (2)$$

На третьем этапе экспериментальной работы нами определялось предельное время начала ликвидации горения $t_{нач}$ текстильных материалов первым дежурным караулом пожарной охраны, прибывшим на место вызова. Для расчета времени ликвидации горения использована формула:

$$t_{нач} = \frac{\sqrt{\frac{Q_{тр}}{I_{тр} \cdot \pi}}}{V_{л}}. \quad (3)$$

Расчет времени проводился для текстильных материалов, расположенных под углом 0 и 15 град. Значения углов выбраны исходя из того, что текстильные материалы на складе и в производственных цехах находятся в кипах, тюках, рулонах, тарном полотне на ровной поверхности в штабелях, которые могут иметь незначительный уклон.

Результаты и обсуждение

В исследовании (рис. 2 – время ликвидации горения при подаче двух ручных пожарных стволов при горизонтальном размещении текстильного материала под углом 0 град) менее пожароопасным текстильным материалом является плотный хлопок. Согласно расчетам горение плотного хлопка может быть ликвидировано при вводе всех рассматриваемых ручных пожарных стволов. Минимальный расход воды на тушение составляет 2 л/с. Предельное время начала ликвидации горения составляет не более 30 минут от начала возникновения пожара. Акриловое волокно и легкий хлопок имеют одинаковую линейную скорость распространения горения. Оптимальный расход воды на 10 минуте развития пожара, то есть до момента перехода пожара в развившуюся стадию горения [5], начинается от 7,9 л/с. Предельное время ликвидации горения составит 15,4 минуты. Наиболее пожароопасные текстильные материалы в исследовании – смесь полиэстера и хлопка (55% / 45% и 65% / 35%). Для ликвидации горения ткани из смеси полиэстера и хлопка в соотношении 55% / 45% требуется подать 31,6 л/с с помощью ручных пожарных стволов Dual-Force 1.5, ThunderFog 2.5, Optramatic 1000 и Dual-Force 2.5. Предельное время ликвидации горения составит 11,5 минуты от начала пожара. Для ликвидации горения ткани из смеси полиэстера и хлопка 65% / 35% необходимо подавать большой расход воды – 38,4 л/с. Для этой цели подходит только ручной пожарный ствол Dual-Force 2.5. Предельное время ликвидации горения составит 10 минут от начала пожара.

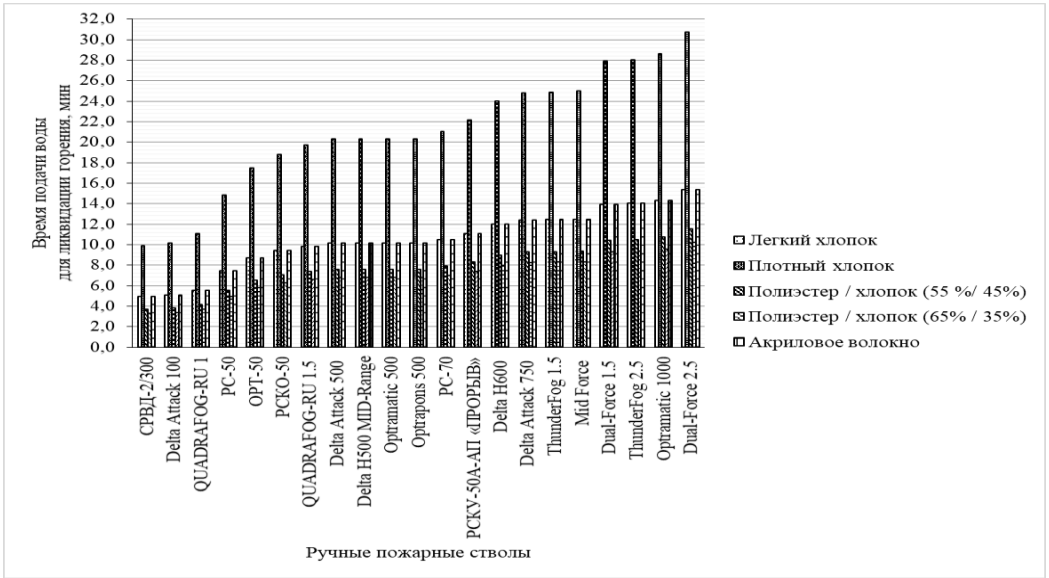

Рис. 2

Динамика горения существенно изменяется при изменении наклона текстильных материалов (рис. 3 – время ликвидации горения при подаче двух ручных пожарных стволов при горизонтальном размещении текстильного материала под углом 15 град). Так, при наклоне материала на 15 град линейная скорость распространения горения легкого хлопка увеличивается в 3 раза, плотного хлопка – в 3,3 раза, смеси полиэстера и хлопка 55% / 45% – в 2,3 раза, полиэстера и хлопка 65% / 35% – в 1,4 раза, акрилового волокна – в 1,3 раза. Также при наклоне шерсти на 15 град происходит ее самостоятельное горение при удалении внешнего источника зажигания [6].

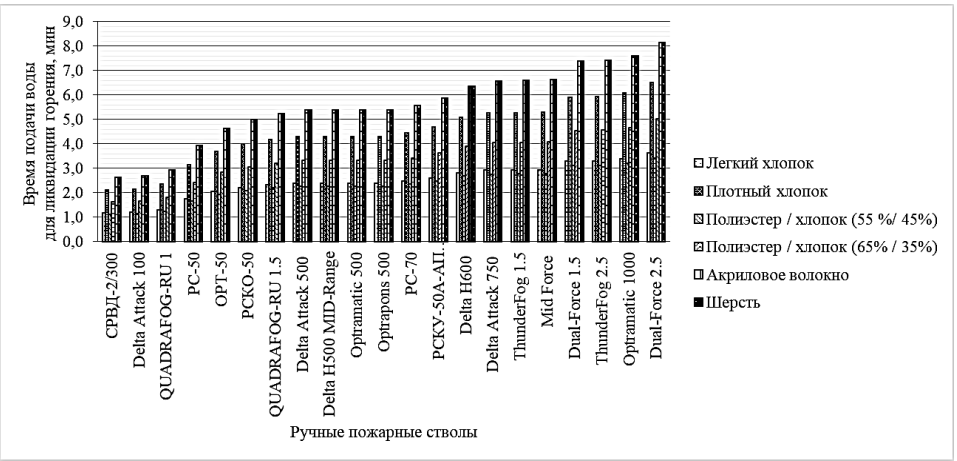

Рис. 3

Согласно расчетам горение акрилового волокна и шерсти может быть ликвидировано при вводе ручных пожарных стволов Dual-Force 1.5, ThunderFog 2.5, Optramatic 1000 и Dual-Force 2.5 на 11,5 минуте свободного развития пожара. Оптимальный расход воды должен составлять от 31,6 л/с. Для ликвидации горения других текстильных материалов требуется максимальный расход воды – 38,4 л/с, который может подать дежурный караул ручными стволами Dual-Force 2.5. Таким образом, предельное время ликвидации горения плотного хлопка составит 9,2 минуты, смеси полиэстера и хлопка 65% / 35% – 7,1 минуты, легкого хлопка – 5,1 минуты, смеси полиэстера и хлопка 55% / 45% – 4,9 минуты.

В Ы В О Д Ы

1. Предельное время начала ликвидации горения текстильных материалов находится в прямой зависимости от оперативной обстановки и тактических возможностей дежурного караула, прибывшего на место вызова. Во-первых, силы и средства могут быть направлены на спасение людей в объекте пожара. Во-вторых, путь следования звеньев газодымозащитной службы до места проведения работ может иметь большую протяженность. Поэтому необходимо совершенствовать тактические возможности дежурного караула с целью возможной подачи большого количества огнетушащих веществ на ликвидацию горения.

2. Необходимость одновременного ввода двух ручных пожарных стволов с большим расходом воды на ликвидацию горения требует сбора двух насосно-рукавных систем, по одной на каждый ствол.

3. На скорость распространения горения, а соответственно и предельное время начала ликвидации горения текстильных материалов первым дежурным караулом пожарной охраны существенно влияет угол наклона горящей поверхности к вертикали (или к горизонтали). Вследствие этого возникает потребность в анализе старшим начальствующим составом местного пожарно-спасательного гарнизона оперативно-тактической характеристики рассматриваемых объектов пожара. Данный аспект позволит приблизить прогноз развития пожара к реальным условиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г.* Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. №4 (394). С. 75…81. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_75

2. *Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Петров А.В. и др.* Использование методов термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов из целлюлозных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5 (389). С. 92…97.

3. *Лаврентьева Е.П.* Разработка научных основ и технологий производства текстильных материалов новых структур для специальной одежды и средств индивидуальной защиты: дис. … д-ра техн. наук. М., 2016. 413 с.

4. *Абдурагимов И.М.* Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 6. С. 13…23.

5. *Иванников В.П., Клюс П.П.* Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.

6. *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. – https://doi.org/10.1533/9781845695064.339.

7. *Ермилов А.В., Никишов С.Н., Кузнецов А.В., Тарасова Д.А.* Поддержка принятия управленческих решений выбора оптимального расхода огнетушащих веществ на месте пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 122…129.

8. *Топольский Н.Г., Вилисов В.Я., Хабибулин Р.Ш. и др.* Применение машинообучаемых цепей Маркова для определения ранга пожара и прогнозирования фаз его развития // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30, № 6. С. 39…51. – doi: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.39-51

9. *Ермилов А.В., Никишов С.Н., Кокурин А.К., Сидорова М.В.* Прогнозирование оперативной обстановки для оценки эффективности управления силами и средствами руководителем тушения пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 19…27.

10. *Теребнев В.В., Шурыгин М.А., Атаманов Т.Н., Илеменов М.В.* «Шпаргалка» РТП. Расчет параметров насосно-рукавных систем с помощью таблиц. Екатеринбург: Калан, 2013. 116 с.

11. *Абдурагимов И.М.* Проблема тушения лесных и торфяных пожаров (тепловая теория тушения пожаров твердых горючих материалов на открытых пространствах и внутри зданий и сооружений) // Пожаровзрывобезопасность. 2012, Т. 21. № 10. С. 66…76.

REFERENCES

1. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G.* Evaluating method analysis of fire-resistant properties of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 4 (394). pp. 75...81. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_75

2. *Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Petrov A.V. etc.* Using thermal analysis methods to assess the fire hazard properties of textile materials made of cellulose fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. No. 5 (389). pp. 92...97.

3. *Lavrentieva E.P.* Development of scientific foundations and technologies for the production of textile materials of new structures for special clothing and personal protective equipment: dissertation of the Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2016. 413 p.

4. *Abduragimov I.M.* Once again about the fundamental impossibility of performing fire risk calculations using deterministic methods // Fire and explosion safety. 2013. Vol. 22, No. 6. pp. 13...23.

5. *Ivannikov V.P., Klyus P.P.* Handbook of the head of fire extinguishing. M.: Stroyizdat, 1987. 288 p.

6. *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. – https://doi.org/10.1533/9781845695064.339.

7. *Ermilov A.V., Nikishov S.N., Kuznetsov A.V., Tarasova D.A.* Support for managerial decision-making in choosing the optimal consumption of extinguishing agents at the fire site // Modern problems of civil protection. 2024. No.3 (52). pp. 122...129.

8. *Topolsky N.G., Vilisov V.Ya., Khabibulin R.Sh. etc.* Application of machine-learning Markov chains to determine the rank of a fire and predict the phases of its development // Fire and explosion safety. 2021. Vol. 30, No.6. pp. 39...51. – doi: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.39-51

9. *Ermilov A.V., Nikishov S.N., Kokurin A.K., Sidorova M.V.* Forecasting the operational situation to assess the effectiveness of the management of forces and means by the fire extinguishing manager // Modern problems of civil protection. 2023. No. 4 (49). pp. 19...27.

10. *Terebnev V.V., Shurygin M.A., Atamanov T.N., Ilemenov M.V.* «Cheat sheet» of the HFE. Calculation of the parameters of pumping and bag systems using tables. Yekaterinburg: Kalan Publishing House, 2013. 116 p.

11. *Abduragimov I.M.* The problem of extinguishing forest and peat fires (thermal theory of extinguishing fires of solid combustible materials in open spaces and inside buildings and structures) // Fire and explosion safety. 2012, vol. 21. No. 10. pp. 66...76.

Рекомендована кафедрой пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»). Поступила 24.12.24.