УДК 66.091.2:614.841.41
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_231

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СПОСОБНОСТЬ ЭКРАНИРОВАТЬ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ*

ASSESSMENT OF IMPACT OF TEXTILE MATERIALS FIRE RETARDANT TREATMENT ON THERMAL RADIATION SHIELDING

А.А. КРАСНОВ[1], С.А. СЫРБУ [1,2], О.Г. ЦИРКИНА[1], Н.Н. КОЛЕСНИКОВА[2], А.Н. КЛУШИН[1], А.Г. НАУМОВ[1]

A.A. KRASNOV[1], S.A. SYRBU[1,2], O.G. TSIRKINA[1], N.N. KOLESNIKOVA[2], A.N. KLUSHIN[1], A.G. NAUMOV[1]

([1]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, [2]МИРЭА-Российский технологический университет)

([1]Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia, [2] MIREA-Russian Technological University)

E-mail: krasnow.a.a@mail.ru, syrbue@yandex.ru, ogtsirkina@mail.ru, nina.kuzmina.1992@mail.ru, gpn-obninsk@mail.ru

Работа посвящена выявлению влияния огнезащитной обработки текстильных материалов из целлюлозных волокон и их смеси с синтетическими на экранирующие свойства тканей при воздействии на них теплового потока с целью оценки возможности повышения комфортности одежды специального назначения в экстремальных условиях ее эксплуатации. Оценка экранирующих свойств проводилась для тканей, обработанных различными по составу растворами антипиренов, с использованием измерителя удельной мощности теплового потока ИПП-2. Экранирующие свойства материалов оценивались по следующим показателям: удельной мощности прошедшего через ткань теплового потока, индексу передачи теплового излучения ткани, коэффициенту отражения теплового излучения ткани. Показано, что огнезащитная обработка изменяет теплофизические свойства тканей. Выявлены зависимости экранирующих свойств тканей с

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

огнезащитной обработкой от интенсивности падающего потока излучения и состава антипирирующих композиций. Отмечено, что зависимость экранирующих свойств исследованных материалов от удельной мощности падающего потока теплового излучения имеет нелинейный характер. На основании полученных экспериментальных данных созданы математические модели, характеризующие изменения теплофизических параметров тканей.

The work is devoted to identifying the effect of fire-retardant treatment of textile materials made of cellulose fibers and their blends with synthetic fibers on the shielding properties of fabrics exposed to heat flux. This work aims to assess the potential for improving the comfort of special-purpose clothing under extreme operating conditions. The shielding properties were evaluated for fabrics treated with fire retardant solutions of various compositions using the IPP-2 heat flux specific power meter. The shielding properties of the materials were evaluated by the following indicators: the specific power of the heat flux passing through the fabric, the heat transfer index of the fabric, and the reflection coefficient of the thermal radiation of the fabric. It is shown that fire-retardant treatment changes the thermophysical properties of fabrics. The dependences of the shielding properties of fire-retardant treated fabrics on the intensity of the incident radiation flux and the composition of the annealing compositions are revealed. It is noted that the dependence of the shielding properties of the studied materials on the specific power of the incident flow of thermal radiation is nonlinear. Based on the experimental data obtained, mathematical models have been created that characterize changes in the thermophysical parameters of tissues.

Ключевые слова: огнезащита текстиля, антипирен, теплофизические характеристики, тепловой поток, тепловое сопротивление.

Keywords: textile fire protection, fire retardants, thermophysical characteristics, heat flux, thermal resistance.

Введение

В настоящее время обеспечение пожарной безопасности объектов является одной из важнейших задач, которые решаются на всех уровнях государственного управления. Исходя из ежегодной статистики пожаров [1] можно сделать вывод о том, что разработка, создание и применение пожаробезопасных материалов во всех сферах деятельности человека должны находиться в числе приоритетных направлений.

Объем опубликованных работ в области текстильной теплофизики достаточно велик [1…12]. Однако в связи с крайне большим разнообразием свойств текстильных материалов и постоянным ростом ассортимента текстильной продукции изучение теплофизических свойств текстильных материалов с учетом их структурных особенностей, а также совершенствование методов оценки их теплозащитных свойств является актуальной задачей. В частности, это необходимо для разработки высокоэффективных средств защиты человека от тепловых излучений, основным из которых является одежда. Одежда, будучи по сути своей экраном, должна обеспечивать необходимый уровень комфорта и безопасности [4]. Особые требования по защите от теплового излучения предъявляются к одежде специального назначения и боевой одежде пожарных [7]. Согласно ГОСТ Р 53264-2019 «Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний» одежда пожарного должна выдерживать в течение регламентированного времени тепловые потоки с удельной мощностью до 40 кВт/м^2.

Целью представленной работы является оценка влияния различного вида огнезащитной обработки текстиля на теплофизические свойства тканей, которые, в частности, характеризуют способность материалов защищать человека от воздействия высоких температур.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились целлюлозосодержащие и смесовые ткани: гобелен 100 ХВ с металлизированной нитью, брезент 45ХВ/55ЛВ, саржа отваренная 80ХВ/20ПЭ, саржа суровая 65ХВ/35ПЭ (ХВ – хлопковое волокно, ЛВ – льняное волокно, ПЭ – полиэфирное волокно).

Огнезащитные составы наносились на образцы тканей методом плюсования. Антипирирующие композиции имели следующие составы:

Состав 1. Вода – 100 мл, раствор Пироватекс – 30 мл, кремнийорганическая смола марки RUT 3010 (далее – КОС) – 5 мл, раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10%-й – 0,5 мл, ПВА – 1 мл.

Состав 2. Вода – 100 мл, раствор Пироватекс – 30 мл, порошок диоксида кремния марки «Ковелос» – 1 г, раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10%-й – 0,5 мл.

Состав 3. Вода – 100 мл, Пироватекс – 30 мл.

Состав 4. Вода – 100 мл, Тезагран – 20 г.

Эксперименты проводились на стенде, включающем в себя источник теплового излучения, рамку для закрепления образцов ткани, измеритель удельной мощности теплового потока ИПП-2. Рамка для закрепления образцов ткани и прибор ИПП-2 установлены на подвижной платформе, способной перемещаться относительно источника теплового излучения, что обеспечивает возможность регулировки мощности падающего на образец потока теплового излучения. Измерения прибором ИПП-2 производятся в автоматическом режиме с приведенной точностью 5 процентов (Паспорт ИПП-2). Общий вид стенда представлен на рис. 1 (1 – прибор для измерения теплового потока ИПП-2; 2 – линейка; 3 – основание; 4 – стойка; 5 – датчик теплового потока; 6 – рамка для крепления образцов тканей; 7 – образец ткани; 8 – источник теплового потока).

Рис. 1

При проведении экспериментов фиксировалась величина удельной мощности падающего теплового излучения и величина удельной мощности теплового излучения за образцом. Датчик прибора ИПП-2 располагался на расстоянии 2…5 мм от поверхности образца ткани. Удельная мощность падающего излучения выбиралась в интервале от 168 до 840 Вт/м^2. По данным экспериментов проводились вычисления коэффициента теплопередачи и коэффициента экранирования в процентном выражении.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Оценку интенсивности передачи теплоты проводили по коэффициенту теплопередачи k, который представляет собой отношение удельной мощности теплового потока, прошедшего через образец $W_{Об}$, к удельной мощности теплового потока, падающего на образец $W_П$, расположенный между источником теплового излучения и датчиком удельной мощности теплового потока, согласно ГОСТ Р ИСО 6942-2007.

Оценку экранирующих свойств текстильных материалов можно также производить по коэффициенту экранирования теплового излучения [13]:

$$\eta = \frac{W_П - W_{Об}}{W_П} \cdot 100\%. \qquad (1)$$

Для оценки теплофизических свойств исходных тканей и образцов с огнезащит-

ной отделкой получен большой массив экспериментальных данных, в том числе значения приведенных ниже показателей в зависимости от величины удельной мощности падающего потока излучения:

- удельной мощности прошедшего через ткань теплового потока;
- индекса передачи теплового излучения ткани;
- коэффициента отражения теплового излучения ткани.

С целью анализа полученных экспериментальных данных и выявления зависимостей целесообразно использовать математический аппарат, способный смоделировать изменения теплофизических параметров тканей. Для этого необходимо провести кодирование исследуемых образцов и их характеристик. В табл. 1 приведен перечень исследованных тканей, их теплофизические характеристики и коды образцов.

Таблица 1

Шифр цифровой	Наименование материала	Зависимость удельной мощности теплового потока, прошедшего через ткань, от удельной мощности падающего потока излучения w	Зависимость индекса передачи теплового излучения ткани от удельной мощности падающего потока теплового излучения w	Зависимость коэффициента отражения теплового излучения ткани от удельной мощности падающего потока теплового излучения w
1. Гобелен				
1.0	Гобелен необработанный	$W10(w)$	$k10(w)$	$\eta 10(w)$
1.1	Образец 1. Гобелен, обработанный раствором Пироватекса с КОС	$W11(w)$	$k11(w)$	$\eta 11(w)$
1.2	Образец 2. Гобелен, обработанный раствором Пироватекса с диоксидом кремния	$W12(w)$	$k12(w)$	$\eta 12(w)$
1.3	Образец 3. Гобелен, обработанный раствором Пироватекса	$W13(w)$	$k13(w)$	$\eta 13(w)$
2. Брезент				
2.0	Брезент необработанный	$W20(w)$	$k20(w)$	$\eta 20(w)$
2.4	Образец 4. Брезент, обработанный раствором Тезаграна	$W24(w)$	$k24(w)$	$\eta 24(w)$
3. Саржа 80ХВ/20ПЭ				
3.0	Саржа 80ХВ/20ПЭ необработанная	$W30(w)$	$k30(w)$	$\eta 30(w)$
3.1	Образец 1. Саржа 80ХВ/20ПЭ, обработанная раствором Пироватекса с КОС	$W31(w)$	$k31(w)$	$\eta 31(w)$
3.2	Образец 2. Саржа 80ХВ/20ПЭ, обработанная раствором Пироватекса с диоксидом кремния	$W32(w)$	$k32(w)$	$\eta 32(w)$
3.3	Образец 3. Саржа 80ХВ/20ПЭ, обработанная раствором Пироватекса	$W33(w)$	$k33(w)$	$\eta 33(w)$
4. Саржа 65ХВ/35ПЭ				
4.0	Саржа 65ХВ/35ПЭ необработанная	$W40(w)$	$k40(w)$	$\eta 40(w)$
4.1	Образец 1. Саржа 65ХВ/35ПЭ, обработанная раствором Пироватекса с КОС	$W41(w)$	$k41(w)$	$\eta 41(w)$
4.2	Образец 2. Саржа 65ХВ/35ПЭ, обработанная раствором Пироватекса с диоксидом кремния	$W42(w)$	$k42(w)$	$\eta 42(w)$
4.3	Образец 3. Саржа 65ХВ/35ПЭ, обработанная раствором Пироватекса	$W43(w)$	$k43(w)$	$\eta 43(w)$

Полученные экспериментальные данные аппроксимировались полиномами второго порядка как функции, описывающие зависимость экранирующих свойств материала от величины удельной мощности падающего потока теплового излучения, с помощью метода наименьших квадратов. Полученный ряд полиномов приведен в табл. 2.

Таблица 2

1. Гобелен	
1.0	$W10(w) = -5{,}833 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 1{,}196 \cdot w - 82{,}321,$ $k10(w) = -1{,}249 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 + 1{,}209 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}468,$ $\eta 10(w) = 1{,}249 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 - 1{,}209 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}532.$
1.1	$\mathrm{W}11(w) = -3{,}93 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}881 \cdot w - 0{,}577,$ $k11(w) = 7{,}261 \cdot 10^{-8} \cdot w^2 - 4{,}694 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}895,$ $\eta 11(w) = -7{,}261 \cdot 10^{-8} \cdot w^2 + 4{,}694 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}105.$
1.2	$\mathrm{W}12(w) = -2{,}703 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}8286 \cdot w - 0{,}981,$ $k12(w) = -1{,}366 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 1{,}158 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}79,$ $\eta 12(w) = 1{,}366 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 1{,}158 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}21.$
1.3	$\mathrm{W}13(w) = -1{,}243 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}648 \cdot w + 46{,}941,$ $k13(w) = 8{,}137 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 1{,}257 \cdot 10^{-3} \cdot w + 1{,}087,$ $\eta 13(w) = -8{,}137 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 1{,}257 \cdot 10^{-3} \cdot w - 0{,}087.$
2. Брезент	
2.0	$\mathrm{W}20(w) = -3{,}123 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}712 \cdot w + 5{,}697,$ $k20(w) = -9{,}289 \cdot 10^{-8} \cdot w^2 - 2{,}402 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}72,$ $\eta 20(w) = 9{,}289 \cdot 10^{-8} \cdot w^2 + 2{,}402 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}28.$
2.4	$\mathrm{W}24(w) = -2{,}787 \cdot 10^{-5} \cdot w^2 + 0{,}494 \cdot w + 78{,}702,$ $k24(w) = 9{,}091 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 1{,}43 \cdot 10^{-4} \cdot w + 1{,}123,$ $\eta 24(w) = -9{,}091 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 1{,}43 \cdot 10^{-3} \cdot w - 0{,}123.$
3. Саржа 80Х/20ПЭ	
3.0	$\mathrm{W}30(w) = -3{,}555 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}876 \cdot w - 18{,}979,$ $k30(w) = -5{,}048 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 2{,}949 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}657,$ $\eta 30(w) = 5{,}048 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 2{,}949 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}343.$
3.1	$\mathrm{W}31(w) = -6{,}468 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 1{,}208 \cdot w - 74{,}236,$ $k31(w) = -9{,}993 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 8{,}309 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}581,$ $\eta 31(w) = 9{,}993 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 8{,}309 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}419.$
3.2	$\mathrm{W}32(w) = -7{,}595 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 1{,}346 \cdot w - 61{,}289,$ $k32(w) = -7{,}029 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 3{,}267 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}857,$ $\eta 32(w) = 7{,}029 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 3{,}267 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}143.$
3.3	$\mathrm{W}33(w) = -5{,}724 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 1{,}253 \cdot w - 81{,}09,$ $k33(w) = -1{,}08 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 + 1{,}029 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}571,$ $\eta 33(w) = 1{,}08 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 - 1{,}029 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}429.$
4.Саржа 65ПЭ/35Х	
4.0	$W40(w) = -3{,}383 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}875 \cdot w - 39{,}06,$ $k40(w) = -5{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 4{,}438 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}545,$ $\eta 40(w) = 5{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 4{,}438 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}455.$
4.1	$W41(w) = -5{,}642 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 1{,}188 \cdot w - 91{,}529,$ $k41(w) = -1{,}173 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 + 1{,}193 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}429,$ $\eta 41(w) = -1{,}173 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 - 1{,}193 \cdot 10^{-3} \cdot w + 0{,}571.$
4.2	$W42(w) = 1{,}098 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}432 \cdot w + 74{,}416,$ $k42(w) = 6{,}13 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 9{,}463 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}969,$ $\eta 42(w) = -6{,}13 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 9{,}463 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}031.$
4.3	$W43(w) = -1{,}19 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 + 0{,}199 \cdot w + 13{,}722,$ $k43(w) = 1{,}878 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 - 3{,}956 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}315,$ $\eta 43(w) = -1{,}878 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 3{,}956 \cdot 10^{-4} \cdot w + 0{,}685.$

Среднеквадратичное отклонение аппроксимационных кривых от исходных значений лежит в пределах от 0,1 до 8 единиц. Коэффициент вариации – в пределах от 1 до 17 процентов, что для данного набора значений исходных данных вполне приемлемо [13].

Для сравнения экранирующих параметров образцов обработанных и необработанных материалов были найдены относитель-

ные коэффициенты экранирования согласно формуле:

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta_0 - \eta_{Об}}{\eta_0} \cdot 100\%, \qquad (2)$$

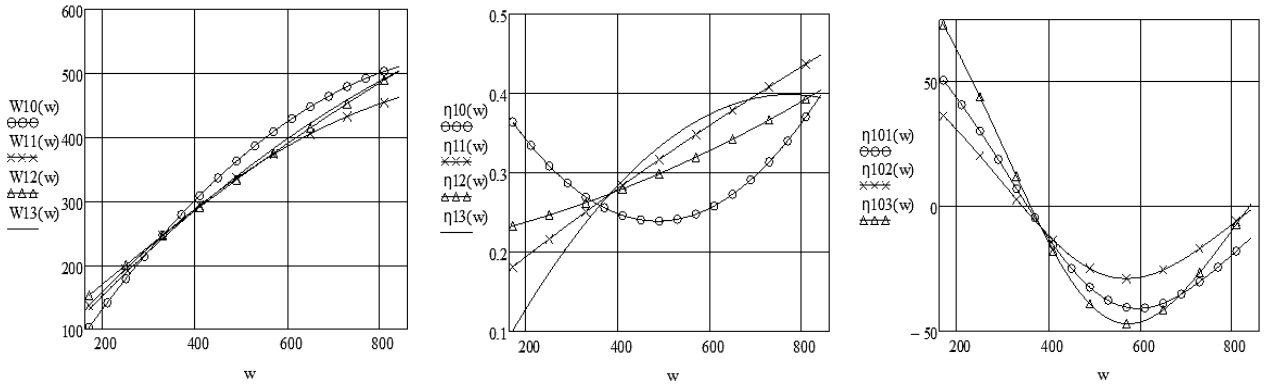
где $\eta_{\text{отн}}$ – относительный коэффициент экранирования; η_0 – коэффициент экранирования образцами необработанной ткани; $\eta_{Об}$ – коэффициент экранирования образцами ткани с огнезащитной обработкой.

Полученные аппроксимационные кривые и графики зависимостей относительных коэффициентов экранирования для гобелена представлены на рис. 2 (обозначения кривых согласно кодировочной табл. 1):

а) зависимости интенсивности потока теплового излучения, проходящего через ткань, от интенсивности потока теплового излучения, падающего на поверхность образцов гобелена, обработанного различными составами;

б) зависимости коэффициента экранирования потока теплового излучения от интенсивности потока теплового излучения, падающего на поверхность образцов гобелена, обработанного различными составами;

в) зависимости относительного коэффициента отражения теплового излучения от интенсивности потока теплового излучения, падающего на поверхность образцов гобелена, обработанного различными составами.



а) б) в)

Рис. 2

Для удобства построения к шифру ткани в легенде добавлена единица. В частности, η101(w) – зависимость относительного коэффициента экранирования от интенсивности падающего потока излучения для гобелена, обработанного Пироватексом; η102(w) – зависимость относительного коэффициента экранирования от интенсивности падающего потока излучения для гобелена, обработанного Пироватексом и КОС; η103(w) – зависимость относительного коэффициента экранирования от интенсивности падающего потока излучения для гобелена, обработанного Пироватексом и диоксидом кремния.

Анализ полученных данных показывает, что зависимость экранирующих свойств исследованных текстильных тканей от удельной мощности падающего потока теплового излучения имеет нелинейный характер. Возможно, это связано с нелинейностью характера зависимости интенсивностей потоков, которые излучают лицевая и изнаночная стороны тканей, от интенсивности падающего потока излучения вследствие различия их температур. Но данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что огнезащитная обработка, получаемая путем пропитки материала, заметно изменяет теплофизические свойства тканей. Следует отметить, что эти изменения зависят не только от типа ткани и состава пропитки, но и от интенсивности теплового излучения. Так, например, пропитка гобелена всеми тремя указан-

ными выше составами обеспечивает повышение экранирующих свойств до удельной мощности падающего потока излучения в 350 Вт/м^2. При большей интенсивности падающего потока излучения экранирующие свойства гобелена с огнезащитной пропиткой уменьшаются, а при достижении удельной мощности падающего потока излучения примерно в 600 Вт/ м^2 экранирующие свойства снова улучшаются.

Поскольку зависимости экранирующих способностей пропитанных растворами огнезащитных композиций образцов тканей имеют нелинейный характер, то оценка влияния на эти характеристики тех или иных составов композиций может быть сделана по среднему значению интервала удельной мощности падающего теплового потока. Так, для гобелена при W = 500 Вт/м^2 наилучшими экранирующими свойствами обладает образец 3, наихудшими – образец 2. Для саржи составов 80ХВ/20ПЭ и 65ХВ/35ПЭ лучшими экранирующими свойствами обладают образцы 2, худшими – образцы 1.

Очевидно, что предложенный метод оценки огнезащитных композиций с точки зрения экранирующих свойств пропитанных ими образцов тканей может быть только условным и требует дальнейшей научной проработки. И совершенно неясно, удастся ли найти какой-то интегральный критерий для такого рода оценивания антипирирующих растворов.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования носят оценочный характер. Достоверность полученных результатов определяется тем, что экспериментальные данные были получены с использованием одной лабораторной установки как для интенсивности падающего потока излучения на лицевую сторону образцов текстильных материалов, так и для интенсивности потока излучения с их изнаночной стороны.

2. Исходя из полученных данных можно сделать вывод об усилении экранирующих свойств материалов из хлопковых, хлопкольняных и смешанных волокон после их обработки огнезащитными составами на основе препаратов Пироватекс и Тезагран при определенных значениях удельной мощности падающего потока излучения.

3. Необходимо разрабатывать более совершенные экспериментальные установки, позволяющие получать точные количественные характеристики исследуемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналитич. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.

2. *Nathaniel E., Hager J.R., Steere R.C.* Radiant Heat Transfer in Fibrous Thermal Insulation // Journal of Applied Physics. 1967. V. 38. № 12. P. 4663…4668.

3. *Lee S.C., Cunnington G. R.* Heat Transfer in Fibrous Insulations: Comparison of Theory and Experiment // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 1998. V. 12. № 3. P. 297…303.

4. *Molders N.* Inventory of the Thermo-Physiological Behavior of Fabrics. - A Review // Journal of Textile Science and Technology. 2023. № 9. P. 127…150.

5. *Matusiak M.* Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2006. V. 14. № 5 (59). P. 98…102.

6. *Fu M., Weng W.G., Yuan H.Y.* Institute Quantitative assessment of the relationship between radiant heatexposure and protective performance of multilayer thermalprotective clothing during dry and wet conditions // Journal of Hazardous Materials. 2014. V. 276. P. 383…392.

7. *Лабинский А.Ю.* Особенности учета лучистого теплообмена в пожарном деле // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2020. № 4. С. 51…55.

8. *Ахмедов А.Б., Шимко В.Ю., Пузач С.В.* Ослабление лучистого теплового потока противопожарной преградой «СОГДА» // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 4. С. 58…66.

9. *Cherunova I., Kornev N., Jia G., Richter K., Plentz J.* Development of Infrared Reflective Textiles and Simulation of Their Effect in Cold-Protection Garments // Appl. Sci. 2023. 13. 4043.

10. *Шустов Ю.С., Пушкина Ж.С.* Исследование свойств текстильных материалов для защиты от термического воздействия электрической дуги // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 2 (9). С. 43…50.

11. *Спиридонова В.Г., Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Циркина О.Г.* Обоснование актуальных подходов к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов и способов огнезащиты тканей различного функционального назначения // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 126…133.

12. *Краснов А.А., Сырбу С.А., Циркина О.Г. и др.* Определение теплофизических характеристик тканых материалов с использованием измерителя теплопроводности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6 (414). С. 159…163.

13. *Королюк В.С. и др.* Справочник по теории вероятностей и математической статистике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 640 с.

R E F E R E N S E

1. Fires and fire safety in 2022: Inform.-analit. Sat. Balashikha: FSBI VNIIPO EMERCOM of Russia, 2023. 80 p.

2. *Nathaniel E., Hager J.R., Steere R.C.* Radiant Heat Transfer in Fibrous Thermal Insulation // Journal of Applied Physics. 1967. V. 38. № 12. P. 4663…4668. – https://doi.org/10.1063/1.1709200

3. *Lee S.C., Cunnington G. R.* Heat Transfer in Fibrous Insulations: Comparison of Theory and Experiment // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 1998. V. 12. № 3. P. 297…303. – DOI: 10.1615/AnnualRevHeatTransfer. v 9.50

4. *Molders N.* Inventory of the Thermo-Physiological Behavior of Fabrics. - A Review //Journal of Textile Science and Technology. 2023. № 9. P. 127 - 150. DOI: 10.4236/jtst.2023.92009

5. *Matusiak M.* Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2006. V. 14. № 5 (59). P.98…102.

6. *Fu M., Weng W.G., Yuan H.Y.* Institute Quantitative assessment of the relationship between radiant heatexposure and protective performance of multilayer thermalprotective clothing during dry and wet conditions // Journal of Hazardous Materials. 2014. V. 276. P. 383 – 392. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.056

7. *Labinsky A.Y.* Features of accounting for radiant heat transfer in fire fighting // Supervision and forensic examination in the security system. 2020. № 4. P. 51…55.

8. *Akhmedov A.B., Shimko V.Yu., Puzach S.V.* Weakening of radiant heat flux by the fire barrier «SOGDA» // Fire and explosion safety. 2018. V. 27. № 4. P. 58…66.

9. *Cherunova I., Kornev N., Jia G., Richter K., Plentz J.* Development of Infrared Reflective Textiles and Simulation of Their Effect in Cold-Protection Garments // Appl. Sci. 2023. 13. 4043. – https://doi.org/10.3390/app13064043.

10. *Shustov Yu. S., Pushkina Zh. S.* Study of the properties of textile materials for protection against the thermal effects of an electric arc // Industrial processes and technologies. 2023. Vol. 3. № 2 (9). P. 43…50.

11. *Spiridonova V.G., Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Tsirkina O.G.* Justification of current approaches to assessing fire hazardous properties of textile materials and methods of fire protection of fabrics for various functional purposes // Modern problems of civil protection. 2023. № 2 (47). P. 126…133.

12. *Krasnov A.A., Syrbu S.A., Tsirkina O.G. etc.* Determination of thermophysical characteristics woven materials using a thermal conductivity meter // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 6 (414). P. 159…163.

13. *Korolyuk V.S. etc.* Handbook of Probability Theory and Mathematical Statistics. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Nauka. Ed. in chief of physical and mathematical literature, 1985. 640 p.

Рекомендована кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 07.07.25.